



Inês Santos Vieira

**Implementação de Ferramentas *Lean* e Melhoria do
Layout Industrial de uma Empresa com Produção
por Projeto**



Inês Santos Vieira

**Implementação de Ferramentas *Lean* e Melhoria do
Layout Industrial de uma Empresa com Produção
por Projeto**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão industrial, realizada sob a orientação científica do Doutor Rui Borges Lopes, Professor Auxiliar do Departamento de Economia, Gestão, Engenharia Industrial e Turismo da Universidade de Aveiro.

o júri

presidente

Professor Doutor Carlos Manuel dos Santos Ferreira
Professor Associado C/ Agregação, Universidade de Aveiro

Professor Doutor Pedro Sanches Amorim
Professor Auxiliar, Universidade do Porto - Faculdade de Engenharia

Professor Doutor Rui Jorge Ferreira Soares Borges Lopes
Professor Auxiliar, Universidade de Aveiro

agradecimentos

Quero agradecer ao Ricardo Oliveira, bem como a toda a equipa Sinepower, por me terem acolhido e ensinado tanto.

Agradecer ao professor Rui Borges Lopes pelos conselhos e disponibilidade.

Agradecer a todos os meus amigos que me ajudaram a manter positiva durante estes cinco anos.

Agradecer à minha irmã pela motivação e paciência.

Agradecer aos meus pais por permitirem que tudo isto fosse possível.

palavras-chave

Filosofia *lean*, *layout* industrial, produção por projeto, 5S, trabalho padronizado, simulação.

resumo

A crescente competitividade dos mercados globais pressiona as empresas a melhorar os seus processos, de forma a reduzir custos e aumentar a satisfação do cliente. A implementação de ferramentas da filosofia *lean* vêm responder a estas necessidades de melhoria de uma forma simples e acessível. Em conjunto com estas metodologias, para maximizar os resultados, a melhoria do *layout* industrial é muitas vezes aplicada. Adicionalmente, para obtenção e avaliação de resultados, são criados modelos de simulação.

O presente trabalho pretende responder à necessidade de uma empresa com produção por projeto, que atua num mercado mundial, de reduzir a duração do seu processo produtivo e de melhorar a qualidade dos seus produtos.

As ferramentas da filosofia *lean*, 5S e trabalho padronizado, são aplicadas ao processo produtivo e a disposição do *layout* de postos de trabalho é melhorada.

Os resultados das alterações aos *layouts* implementadas no sistema, demonstram uma redução espaço percorrido pelos trabalhadores em cerca de 48,6%. Ademais, um modelo de simulação dos estados antes e após as alterações, revela uma diminuição da duração do tempo de produção de dois postos de trabalho em 30,4%.

keywords

lean manufacturing, layout facility, engineer-to-order, 5S, standard work, simulation.

abstract

The increasing competitiveness of global markets puts pressure on companies to improve their processes to reduce costs and increase customer satisfaction. The implementation of the lean philosophy often addresses the need for these improvements in a simple and accessible way. Together with these methodologies, in order to maximize results, the plant layout is usually improved. Also, simulation models sometimes are created in order to obtain and evaluate results.

The present work intends to respond to the need of a company with production by project, that operates in a world market, to reduce the duration of its productive process and to improve the quality of its products.

The lean philosophy tools, 5S and standardized work, are applied to the production process and the layout of the workspaces is improved.

The results of the changes to the layouts implemented in the system, show reductions in the distances made by the workers by 48.6%. The comparison of the processes before and after implementations with a simulation model, demonstrates a decrease in the time to complete the tasks, by 30.4%.

Índice

ÍNDICE DE FIGURAS.....	III
------------------------	-----

ÍNDICE DE TABELAS.....	IV
------------------------	----

LISTA DE SIGLAS E ACRÓNIMOS.....	V
----------------------------------	---

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA E OBJETIVOS	1
1.2 METODOLOGIA	2
1.3 ESTRUTURA DO DOCUMENTO	3
CAPÍTULO 2 – ENQUADRAMENTO TEÓRICO	5
2.1 PRODUÇÃO POR PROJETO	5
2.2 LAYOUTS INDUSTRIAIS	6
<i>SLP (systematic layout planning)</i>	8
2.3 FILOSOFIA LEAN	9
2.3.1 <i>VSM (value stream mapping)</i>	12
2.3.2 <i>JIT (just-in-time)</i>	14
2.3.3 <i>Autonomation/ jidoka</i>	15
2.3.4 <i>5S (seiri, seiton, seiso, seiketsu, shitsuke)</i>	16
2.3.5 <i>TPM (total productive maintenance)</i>	18
2.3.6 <i>Trabalho padronizado</i>	19
2.3.7 <i>Kaizen/melhoria contínua</i>	20
2.3.8 <i>Lean Six Sigma</i>	21
2.4 SIMULAÇÃO.....	22
CAPÍTULO 3 – CASO PRÁTICO	23
3.1 A EMPRESA	23
<i>Processo produtivo</i>	24
3.2 ANÁLISE DOS PROCESSOS	28
3.3 ALTERAÇÕES NOS LAYOUTS	31
3.3.1 <i>Posto de produção de indutores</i>	31
3.3.2 <i>Posto de montagem mecânica</i>	33

3.4	METODOLOGIA 5S.....	38
3.5	TRABALHO PADRONIZADO.....	40
3.6	SIMULAÇÃO COM SOFTWARE ARENA.....	43
CAPÍTULO 4 – CONCLUSÕES E PERSPETIVAS FUTURAS		50
BIBLIOGRAFIA		52
ANEXOS		56
ANEXO A – VSM DO ESTADO INICIAL DA EMPRESA		57
ANEXO B – CARTAZ ILUSTRATIVO DA METODOLOGIA 5S		58
ANEXO C – INSTRUÇÕES DE TRABALHO		59
ANEXO D – TABELAS COM DADOS DOS RELATÓRIOS DE SIMULAÇÃO		120

Índice de figuras

Figura 1 - Ponto de desacoplamento em diferentes estratégias de produção (Amrani et al., 2010a). Adaptada.	5
Figura 2 - Metodologia para a aplicação do método SLP (Tortorella & Fogliatto, 2008).....	8
Figura 3 - Exemplo de desperdícios num sistema de valor (Liker, 2004). Adaptada.	10
Figura 4 - Modelo da filosofia <i>lean</i> (Liker, 2004). Adaptada.	11
Figura 5 - Exemplo de um VSM (Suhardi, Anisa, & Laksono, 2019). Adaptada.....	13
Figura 6 - Funcionamento de um sistema <i>pull</i> supermercado, com caixa <i>heijunka</i> e cartões <i>kanban</i> (Lean Enterprise Institute., Marchwinski, Shook, & Lean Enterprise Institute., 2003). Adaptada. .	15
Figura 7 - Metodologia 5S do ponto de vista de Liker (2004). Adaptada.....	17
Figura 8 - Fotografia do produto SFC da Sinepower, em ambiente operacional.....	23
Figura 9 - Modelação dos processos de produção da Sinepower com BPMN.....	25
Figura 10 - VSM do estado inicial do processo produtivo da Sinepower.....	28
Figura 11 - Diagrama de <i>ishikawa</i> referente à produção de equipamentos Sinepower.	29
Figura 12 - Layout do posto de produção de indutores alterado.	32
Figura 13- <i>Layout</i> do posto de produção de indutores inicial.	32
Figura 14 - Diagrama de relações de proximidade.	35
Figura 15 - <i>Layout</i> inicial do posto de montagem mecânica.....	36
Figura 16 - Novo <i>layout</i> do posto de montagem mecânica.	37
Figura 17 - Metodologia utilizada na criação das instruções de trabalho.	41
Figura 18 -Metodologia usada para a criação da simulação dos processos realizados nos postos de produção de indutores e de montagem mecânica, antes e após as alterações efetuadas.....	44
Figura 19 - Modelo lógico de simulação dos processos realizados nos postos de produção de indutores e de montagem mecânica, no software ARENA.	46
Figura 20 - Gráfico com os dados relativos ao tempo máximo em fila de espera nos vários processos, no cenário antes.....	47
Figura 21 - Gráfico com os dados relativos ao tempo máximo em fila de espera nos vários processos, no cenário após.	47
Figura 22 - Gráfico dos dados das primeira e segunda simulações, do tempo total médio desde que a ordem de produção é lançada, até que o equipamento está pronto para entregar ao posto de cablagem.	48

Índice de tabelas

Tabela 1 - Dimensões dos elementos do <i>layout</i>	33
Tabela 2 - Matriz de distâncias iniciais (cm).....	36
Tabela 3 - Matriz novas distâncias (cm).	37

Lista de siglas e acrónimos

5S – *seiri, seiton, seiso, seiketsu, shitsuke*

ATO – *assembly-to-order*

BOM – *bill of materials*

BPMN – *business process model and notation*

ERP – *enterprise resource planning*

ETO – *engineer-to-order*

GPU – *ground power unit*

IGBT – *insulated gate bipolar transistor*

JIT – *just-in-time*

LSS – *Lean Six Sigma*

MO – *manufacturing order*

MTO – *make-to-order*

MTS – *make-to-stock*

PCB – *printed circuit board*

RFI – *radio-frequency interference*

SFC – *static frequency converter*

SLP – *systematic layout planning*

TPM – *total productive maintenance*

TPS – *Toyota Production System*

VSM – *value stream mapping*

WIP – *work-in-process*

Capítulo 1 – Introdução

Atualmente, devido à crescente competitividade do mercado global, as empresas tendem a procurar ferramentas e métodos que permitam melhorar os seus produtos e a sua capacidade produtiva, tendo em vista a satisfação do cliente e a diferenciação no mercado.

A produção de produtos completamente ou parcialmente personalizados, com base nas especificações pedidas pelo cliente, é cada vez mais comum nas empresas com a finalidade de se distinguirem no mercado. No entanto, a gestão deste tipo de processo produtivo torna-se difícil devido à sua variabilidade.

A filosofia *lean* é referida como uma das técnicas atualmente mais eficazes para obter e manter vantagem competitiva. Esta consiste num conjunto de práticas e ferramentas simples com o objetivo de eliminar desperdícios e focar todo o processo produtivo na criação de valor para o cliente, melhorando a performance do processo e a satisfação do cliente.

Complementarmente à adoção da filosofia *lean*, a organização do espaço fabril (*layout*) de acordo com as necessidades produtivas de uma empresa é também essencial para a redução de desperdícios e consequentes custos.

A simulação é uma ferramenta bastante utilizada para prever impactos de alterações introduzidas em espaços produtivos, bem como avaliar os resultados dessas alterações.

1.1 Definição do problema e objetivos

O trabalho aqui apresentado foi desenvolvido no departamento de produção da Sinepower, uma pequena empresa da área da eletrónica de potência situada no concelho de Aveiro. O foco foram os vários processos que constituem a produção de um produto até à sua entrega ao cliente.

A Sinepower é uma empresa com produção por projeto, ou seja, os produtos são desenhados ou alterados conforme a encomenda do cliente. A produção só é iniciada após os projetos dos produtos estarem concluídos, e mesmo que algumas encomendas sejam de produtos *standard*, estes estão sempre em constantes processos de melhoria. Por conseguinte, a duração de todos os processos envolvidos na produção dos produtos apresenta grande instabilidade.

Este projeto pretende responder à necessidade que a empresa tem em reduzir os prazos de entrega ao cliente, bem como melhorar a qualidade dos seus produtos. Para atingir este fim, a

filosofia *lean*, e a reorganização do *layout* industrial são estudados e aplicados ao processo produtivo da empresa.

Com este trabalho é esperada uma contribuição com os resultados da aplicação de metodologias da filosofia *lean* a uma empresa com produção por projeto, visto que a bibliografia disponível sobre o impacto da metodologia *lean* em empresas com produção por projeto é limitada. Também é esperado um contributo com a melhoria do *layout* industrial como preparação para a implementação da metodologia 5S. Ademais, pretende-se demonstrar que a simulação é uma técnica legítima para obter resultados de alterações introduzidas num sistema.

1.2 Metodologia

Este trabalho foi desenvolvido entre os meses de outubro de 2018 e maio de 2019, de acordo com um cronograma que dividiu o projeto em 6 fases.

A primeira fase consistiu na integração na empresa e assimilação dos processos. Aqui os diferentes processos foram observados e algumas notas retiradas. Com estas informações, os processos da empresa foram modelados com recurso à ferramenta BPMN.

De seguida, foram aplicadas ferramentas de análise e os resultados destas foram estudados. As ferramentas escolhidas foram o *value stream mapping* (VSM) e o diagrama de *ishikawa*. As análises, em conjunto com as notas retiradas na primeira fase, revelaram variabilidade na execução das tarefas, muitos movimentos dos operadores durante o trabalho, alterações frequentes nos projetos, poucos controlos de qualidade e ruturas de *stock* frequentes.

A fase da pesquisa bibliográfica foi realizada com o apoio de bases de dados de artigos científicos (*Scopus*, *Web of Science* e *Business Source Complete*) e com recurso a livros das bibliotecas da Universidade de Aveiro. A pesquisa foi focada na produção por projeto, em metodologias *lean*, na melhoria de *layouts* industriais e na simulação.

Na 4ª fase, o problema foi identificado como os longos prazos de entrega e o pouco controlo na qualidade dos produtos. Os métodos de resolução propostos foram a aplicação de ferramentas da *lean*, nomeadamente a metodologia 5S e a padronização do trabalho; e a alteração do *layout* de dois postos de trabalho: posto de produção de indutores e posto de montagem mecânica.

A implementação dos métodos escolhidos e avaliação de resultados foi iniciada com a criação/reestruturação de instruções de trabalho para todas as tarefas do departamento de produção. De seguida, os *layouts* dos postos de trabalho da produção de indutores e de

assemblagem mecânica foram melhorados e a metodologia 5S implementada. Os processos voltaram a ser estudados possibilitando a avaliação dos resultados das alterações implementadas, através de um modelo de simulação.

Por fim, os resultados do trabalho foram discutidos e conclusões retiradas.

1.3 Estrutura do documento

Este relatório encontra-se dividido nos seguintes capítulos: introdução, enquadramento teórico, caso prático e conclusões.

O capítulo introdutório apresenta um breve enquadramento da atualidade do tema, bem como a definição do problema estudado e dos objetivos a atingir. A contribuição do estudo e a metodologia são ainda explicadas.

O segundo capítulo consiste no enquadramento teórico ou revisão da bibliografia. Aqui vários temas relevantes para o desenvolvimento do relatório são descritos de forma teórica recorrendo a diferentes autores. Os temas abordados no capítulo são a produção por projeto; os *layouts* industriais; a filosofia *lean* e suas ferramentas; e a simulação.

O terceiro capítulo contém o caso prático ou caso de estudo. Divide-se na apresentação da empresa, na análise dos processos, na implementação das melhorias e na simulação dos processos. É iniciado com uma breve apresentação da empresa e explicação do processo produtivo da empresa. De seguida, as causas para o problema definido são apresentadas com o apoio das ferramentas de análise VSM e diagrama de *ishikawa*. A melhoria do *layout* industrial de dois postos de trabalho é exposta detalhadamente e os resultados analisados; bem como a implementação das ferramentas 5S e trabalho padronizado. Por fim, é desenhado um modelo de simulação com o objetivo de avaliar as alterações implementadas aos processos.

O último capítulo é onde as conclusões são demonstradas, bem como as limitações do estudo e propostas para o estudo futuro.

Capítulo 2 – Enquadramento teórico

Neste capítulo irá ser dada uma breve definição e descrição teóricas de temas relevantes para o desenvolvimento do trabalho. Nomeadamente a produção por projeto, os *layouts* industriais, a filosofia *lean*, a simulação.

2.1 Produção por projeto

A produção por projeto consiste na criação de produtos únicos, mas similares, sempre resultantes de um projeto (Yang, 2013). Os produtos são criados e produzidos de acordo com as encomendas recebidas e com elementos consoante as especificações requeridas pelo cliente. Adicionalmente, as empresas com produção por projeto produzem em baixos volumes de lote e os níveis de inventário são limitados (Zhou, Zhang, Wang, & Xiao, 2016).

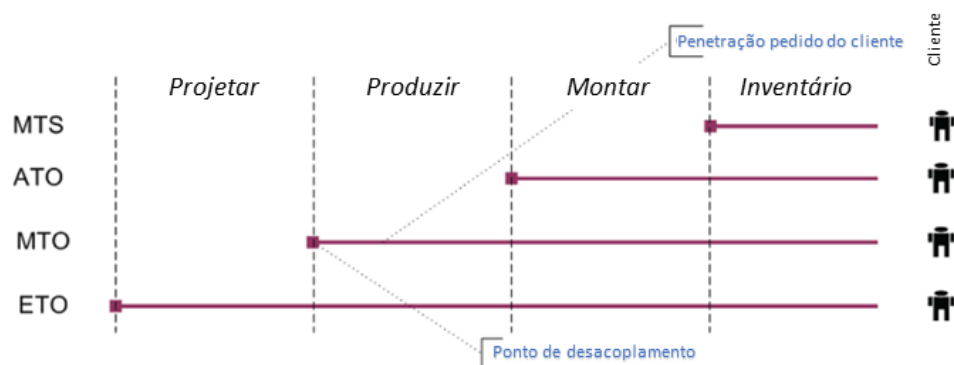


Figura 1 - Ponto de desacoplamento em diferentes estratégias de produção (Amrani et al., 2010a). Adaptada.

Dependendo do tipo de produto a produzir, as empresas optam por diferentes estratégias de produção (figura 1). Se o produto já estiver desenvolvido e pronto a produzir, as possíveis estratégias utilizadas são: MTO (*make-to-order*) ou produção por encomenda; MTS (*make-to-stock*) ou produção para inventário; e ATO (*assembly-to-order*) ou montagem para encomenda. No caso do produto ser personalizado, a estratégia de produção é por projeto ou ETO (*engineer-to-order*) e a empresa tem a responsabilidade de criar, desenvolver e produzir o produto (Amrani, Zouggar, Zolghadri, & Girard, 2010b). Estas diferentes estratégias de produção podem ser diferenciadas pelo seu ponto de desacoplamento. Este ponto é o local, no ciclo de vida da

produção do produto, onde a encomenda do cliente é considerada (Amrani, Zouggar, Zolghadri, & Girard, 2010a).

A produção por projeto é incerta devido às diferentes especificações pedidas pelo cliente. Pequenas alterações em produtos *standard* podem envolver grandes investimentos em desenvolvimento (Amrani et al., 2010b). Consequentemente, a gestão deste tipo de produção é complexa e os métodos utilizados na produção em massa não são aplicáveis (Yang, 2013)(Jasti & Sharma, 2015). Estes autores ainda defendem que deveriam ser aplicadas práticas *lean*/ JIT adequadas para o controlo da produção por projeto.

2.2 *Layouts industriais*

O projeto de um *layout* industrial ou de uma instalação fabril consiste na organização dos elementos físicos de uma planta fabril, com o objetivo de otimizar os fluxos de informação e de material (Apple, 1977). Uma boa organização do *layout* permite minimizar os custos de manuseamento de material, melhorar o planeamento e controlo da produção, reduzir o prazo de entrega dos produtos e diminuir os níveis de inventário (El-Rayah & Hollier, 1970).

O planeamento do *layout* industrial tem sido estudado por vários investigadores, com o objetivo de melhorar a qualidade de produção, a flexibilidade e a fiabilidade dos produtos, fazendo face à globalização e aumento da competitividade do mercado. Além disso, as constantes alterações no mercado obrigam as empresas a adaptar-se rapidamente, e o planeamento de um *layout* flexível e dinâmico é uma clara vantagem para enfrentar estas mudanças (Divya Agarwal, Ajay Singholi, & Pushpendra S. Bharti, 2017).

A organização de uma instalação fabril pode ser realizada de três formas diferentes, no entanto, uma fábrica raramente utiliza exclusivamente um tipo de organização. O mais comum é utilizar combinações de dois ou três tipos de organização. As três maneiras de organização serão apresentadas de seguida.

- *Layout* em linha, também conhecido por *layout* por produto ou de fluxo. Consiste na organização dos elementos do espaço numa linha, com a sequência das operações necessárias para a produção de um produto. Neste tipo de *layout*, geralmente apenas é produzido um tipo de produto.
- *Layout* por processo ou *layout* funcional, neste tipo de organização os elementos do *layout* são agrupados por função. É comum nas empresas com produção personalizada.

- *Layout* de grupo, nesta organização as máquinas são colocadas exclusivamente para fabricar todas ou quase todas as operações de produtos similares. Cada grupo de máquinas pode estar disposto em linha, por processo ou por célula (El-Rayah & Hollier, 1970).

Complementarmente à escolha do tipo *layout* adequado, é necessário decidir os atributos e objetivos que se pretendem com as alterações à organização do espaço, ou seja, os critérios a satisfazer. Os critérios mais comuns para planejar um novo/melhor *layout* são os seguintes: fator qualidade, fator humano, fluxo de informação, flexibilidade, fluxo de material e fator movimento (Divya Agarwal et al., 2017).

Adicionalmente, a implementação da filosofia *lean* leva frequentemente à alteração do *layout* da planta fabril para que esta se ajuste aos novos métodos de produção e facilite a aplicação das ferramentas *lean* (Ali Naqvi, Fahad, Atir, Zubair, & Shehzad, 2016).

O desenvolvimento de projetos de plantas industriais passa por 5 fases principais:

- a. Análise de necessidades - nesta fase é determinado como corrigir os problemas ou atingir os objetivos propostos, tendo em vista novas técnicas de produção estratégicas;
- b. Análise de localizações - é decidida a localização do novo *layout*, sendo que a maioria dos casos é uma reestruturação do mesmo espaço;
- c. *Layout* de blocos - cada área é desenhada como um bloco com as devidas dimensões e relações. Afinidades e fluxos de material entre áreas são determinadas;
- d. *Layout* em detalhe - definição das localizações específicas de cada elemento físico do layout, tendo em conta pontos de energia e outros serviços;
- e. Instalação - criação de instruções para a implementação das alterações e definição da sua duração, tentando minimizar os inconvenientes para operações de produção em processo (Philips, 1997).

O planeamento e análise de novos *layouts* é uma tarefa difícil e demorada, uma vez que envolve muita informação (Ali Naqvi et al., 2016), pelo que geralmente é feito com o apoio de procedimentos ou algoritmos (Ojaghi, Khademi, Yusof, Renani, & Hassan, 2015).

Os procedimentos e algoritmos diferem na abordagem ao problema e na sua resolução. Os procedimentos dividem a resolução em passos e focam-se nos componentes do espaço, enquanto que os algoritmos definem uma função objetivo com todas as restrições e o problema é resolvido de uma só vez matematicamente (Ali Naqvi et al., 2016).

SLP (*systematic layout planning*)

O SLP é uma abordagem por procedimento ao planeamento de *layouts* industriais, muito utilizada em pequenas e médias empresas (Ali Naqvi et al., 2016). Esta abordagem é considerada eficaz e ao mesmo tempo fácil de aplicar (Ojaghi et al., 2015).

A aplicação do SLP inicia-se com uma avaliação PQRST (produto, quantidade, rota, suporte e tempo) com o objetivo de organizar os dados de entrada do problema, e divide-se em três grandes fases: análise, pesquisa e seleção. O esquema da figura 2, demonstra a metodologia para a aplicação do método SLP.

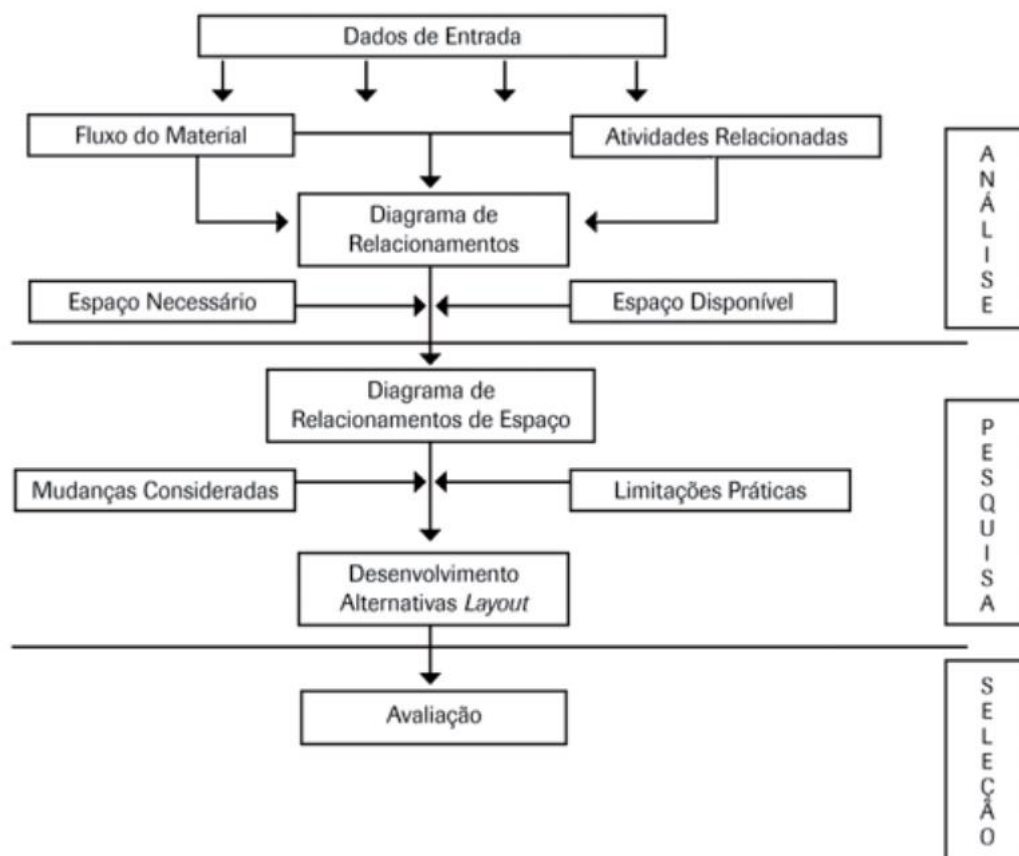


Figura 2 - Metodologia para a aplicação do método SLP (Tortorella & Fogliatto, 2008).

A primeira fase consiste na análise dos fluxos de materiais entre os elementos do *layout*. Com base nos fluxos é criado um diagrama de relações com as proximidades pretendidas entre os elementos do espaço (Tortorella & Fogliatto, 2008). A classificação utilizada no diagrama de relações entre os elementos é a seguinte: A- absolutamente necessária; E- especialmente importante; I- importante; O- normal OK; U- não importante; X- não desejada (Ariful, Rashed, & Hasan, 2017).

A segunda fase utiliza a análise inicialmente realizada e adiciona restrições de espaço, para criar possíveis *layouts*, adicionando também constrangimentos práticos. As dimensões dos vários elementos do espaço devem ser listadas e criado um diagrama de relacionamentos de espaço. Este diagrama é construído representando cada elemento com um nó e ligando os nós com o número de linhas de acordo com as classificações de proximidade definidas no diagrama de relações. A classificação de proximidade A é representada por 4 linhas retas, E por 3 linhas, I por 2 linhas, O por uma linha e X por uma linha em ziguezague. Com base neste diagrama, nas dimensões retiradas e em restrições práticas (portas, ligações elétricas, etc.), são desenhados *layouts* alternativos (Ariful et al., 2017).

Na última fase, as alternativas de *layout* criadas são avaliadas para encontrar o melhor *layout*, considerando que os critérios do projeto foram satisfeitos (Tortorella & Fogliatto, 2008).

2.3 Filosofia lean

A filosofia *lean* consiste em ferramentas e princípios focados na eliminação do desperdício, ou *muda* (palavra japonesa para desperdício). O objetivo é fazer mais com menos, utilizar os mínimos recursos para dar ao cliente exatamente o que este quer. Esta filosofia deriva do sistema de produção da Toyota, desenvolvido por Taiichi Ohno (Jones & Womack, 2003).

O TPS (*Toyota Production System*) foi criado após a segunda Guerra mundial. A necessidade de acompanhar a grande indústria americana, fez com que a empresa Toyota Motor procurasse métodos para se adaptar à pouca procura que a indústria japonesa tinha.

A base do TPS é a completa eliminação de desperdício e é suportado por dois pilares: JIT (*just-in-time*) e *autonomation* (automação com um toque humano). O JIT consiste na produção das peças necessárias apenas na quantidade necessária, de forma a manter o mínimo de inventário. O objetivo da *autonomation* é uma máquina trabalhar sem a necessidade de um operador, apenas quando ocorre alguma anomalia no equipamento o operador é alertado.

A redução de custos, como forma de alcançar a eficiência é um objetivo do TPS. Para isso é necessário que a gestão se envolva para desenvolver as capacidades humanas ao máximo, aumentando a criatividade e produtividade dos trabalhadores. Assim, promove-se a utilização dos recursos e a eliminação de todo o desperdício.

Para manter o fluxo produtivo, os trabalhadores também foram a chave, pois em vez de apenas realizavam uma tarefa, tiveram de ser tornar flexíveis, deixando de operar unicamente uma máquina e passando a realizar diferentes processos.

Nivelar a produção, ou *heijunka*, tanto em quantidade de produtos como variedade (Liker, 2004), é um objetivo do TPM. Este foi conseguido através da criação de parcerias com fornecedores. As necessidades da empresa eram discutidas com os parceiros e estes cooperavam em termos de materiais, mão de obra e dinheiro (Ohno, 1978).

Os desperdícios identificados por Ohno (1978) são os seguintes: movimento, espera, produção excessiva, sobre processamento, defeitos, transporte e inventário.

Estes desperdícios podem ser de dois tipos: atividades que não adicionam valor, mas são inevitáveis (tipo 1); e atividades que não adicionam valor e são evitáveis (tipo 2). No primeiro caso estes devem ser analisados e reduzidos ao mínimo possível, no segundo caso devem ser eliminados (Lacerda, Xambre, & Alvelos, 2016). A figura 3 representa tempos que não acrescentam valor num fluxo produtivo, sendo considerados desperdício.

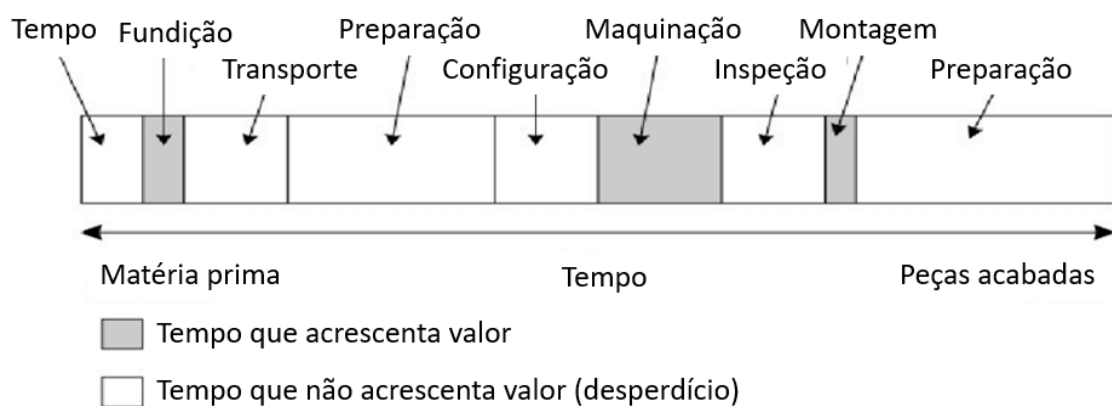


Figura 3 - Exemplo de desperdícios num sistema de valor (Liker, 2004). Adaptada.

Jones e Womack (2003), definem a filosofia *lean* com cinco princípios: especificar valor, identificar o fluxo de valor, fluir, *pull* e perseguir a perfeição.

Valor é aquilo que satisfaz a necessidade do cliente num certo tempo, a um certo preço, ou seja, é o cliente que define o que é valor. O ponto de partida para a implementação da filosofia *lean*, é definir o valor que a empresa quer oferecer, tendo em conta os seus produtos e capacidades, e o diálogo com clientes específicos.

Fluxo de valor são todas as ações necessárias para produzir um certo produto desde que este chega como matéria prima até que é entregue ao cliente. Ao identificar todos os passos do fluxo, facilmente os desperdícios ao longo da cadeia de valor são detetados.

Após identificar os passos do fluxo de valor e eliminar as tarefas que são desperdício, é necessário garantir que a produção flua. Para isso, as funções dos trabalhadores, os departamentos e a empresa devem ser reorganizados de forma a que o foco seja o fluxo dos processos para um produto e não a produção em lotes.

A produção *pull*, ou produção puxada, consiste em produzir apenas quando o cliente posiciona uma encomenda. Ao contrário da produção em massa tradicional, apenas se produz quando há necessidade e não para *stock*.

A filosofia *lean* é um esforço contínuo para reduzir tempo, esforço, espaço e falhas, com o objetivo de alcançar a perfeição (Jones & Womack, 2003).

Para Liker (2004), a filosofia *lean* deve ser implementada numa empresa tendo em conta catorze princípios, organizados em quatro grandes categorias: filosofia de pensamento a longo prazo; processos certos produzem resultados certos; desenvolver as pessoas da organização cria valor e resolver problemas de forma contínua leva a empresa à aprendizagem. Os catorze princípios figuram no esquema da figura 4.

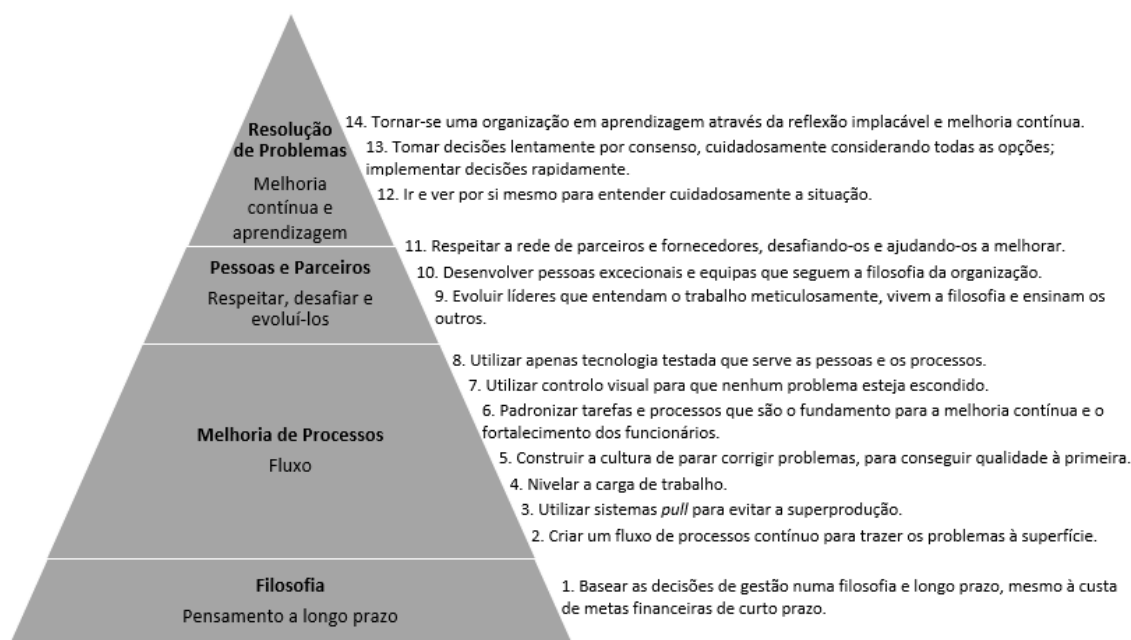


Figura 4 - Modelo da filosofia *lean* (Liker, 2004). Adaptada.

Associados a estes princípios e com o objetivo de facilitar a implementação da filosofia *lean* numa empresa existem vários métodos e ferramentas que foram surgindo ao longo dos anos, com o estudo do método produtivo da Toyota. Alguns deste métodos e ferramentas serão apresentados de seguida, de forma a melhor compreender a implementação da filosofia.

2.3.1 VSM (*value stream mapping*)

O VSM é um método, adaptado dos diagramas de fluxos de materiais e informação da Toyota por Mike Rother e John Shook (1999). Neste mapa, figuram os processos, fluxos de material e de informação de uma família de produto, de forma a identificar desperdícios (Liker, 2004).

A aplicação do VSM é utilizada como ponto de partida para a implementação e suporte de atividades da filosofia *lean* (Dadashnejad & Valmohammadi, 2018). Esta passa principalmente pela análise do estado atual do processo produtivo, no entanto, também é utilizado para a previsão das possíveis mudanças e medição de performance que a implementação trará à organização (Gurumurthy & Kodali, 2011).

Esta ferramenta analisa o fluxo produtivo (fluxo de valor) como um todo, não se focando nos processos individualmente e o seu principal objetivo é identificar todos os tipos de desperdício a fim de os eliminar. É o conjunto de todas as atividades que são necessárias para a produção de um produto, desde a receção da matéria prima até à entrega do produto final ao cliente (Abdulmalek & Rajgopal, 2007), desta forma é possível distinguir quais as atividades que acrescentam e não acrescentam valor ao processo, tanto no fluxo de informação, como no fluxo de material (Shou, Wang, Wu, Wang, & Chong, 2017).

A implementação do VSM pode ser resumida em quatro passos: seleção de uma família de produtos; desenho do mapa do estado atual; desenho do mapa do estado futuro e alcance do estado futuro (Ning & Li, 2018).

Na representação do mapa, o fluxo de informação aparece na parte de cima e o fluxo de material na parte de baixo. O fluxo de informação determina como esta flui entre a empresa, clientes e fornecedores. O fluxo de material é mapeado de acordo com as etapas do processo e é recolhida informação de cada uma (Lacerda et al., 2016). A informação a recolher para o desenho do VSM é a seguinte:

- Tempo de ciclo - tempo para uma operação ser realizada;
- Tempo de troca - tempo que um processo demora a trocar de um produto para o seguinte;
- Percentagem de ocupação - percentagem de tempo em que um posto de trabalho está ocupado com uma peça relativamente ao seu tempo operacional;
- Tempo disponível - tempo alocado para os recursos produzirem;
- Tamanho do lote - número de partes transferidas em conjunto para a fase seguinte;
- Tempo de criação de valor - duração das atividades que adicionam valor ao produto;

- *Lead time* - tempo que um produto demora a passar por todas as fases do fluxo, desde que é matéria prima até chegar ao cliente (Dadashnejad & Valmohammadi, 2018).
- *Takt time* - frequência a que um produto deve ser produzido de forma a corresponder à procura do cliente. Este pode ser calculado dividindo o tempo disponível para produção pela procura do cliente (Lacerda et al., 2016)(Özdağoğlu, 2016).

O VSM é desenhado utilizando ícones predefinidos e de uma forma informal (Abdulmalek & Rajgopal, 2007). Os processos são representados em caixas com alguns indicadores e são ligados entre si com setas. No caso de produção *pull*, estas setas são traçadas. Além disso, o inventário entre cada processo é retratado com triângulos (Liker, 2004).

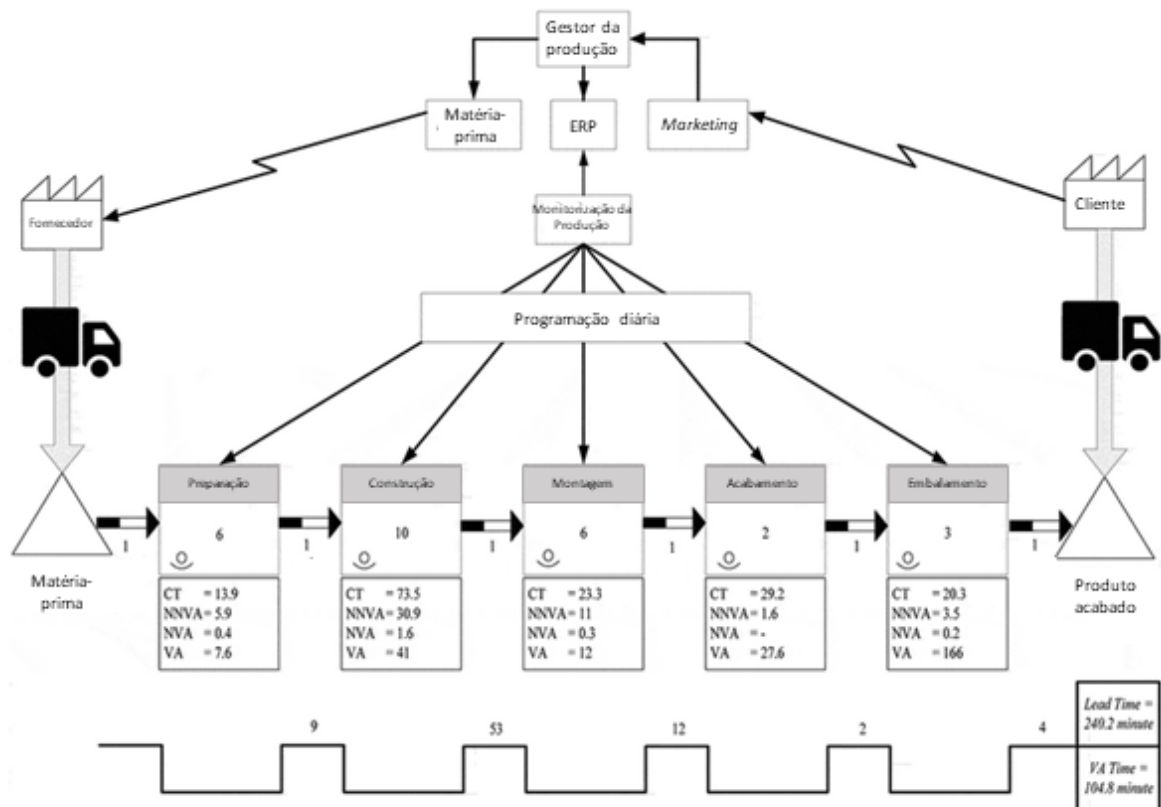


Figura 5 - Exemplo de um VSM (Suhardi, Anisa, & Laksono, 2019). Adaptada.

Na figura 5, estão representados os vários processos, com os seguintes indicadores temporais: tempo de ciclo (CT); tempo necessário, mas que não adiciona valor (NNVA); tempo que não adiciona valor; e tempo que acrescenta valor (VA). Os processos estão ligados entre si

com setas que sinalizam a produção *pull* e está representado inventário (com triângulos) no início e final do mapa. A base do mapa tem uma linha cronológica onde figuram os tempos em fila de espera entre processos e no final da linha está o *lead time* e o tempo total de valor adicionado. Na parte de cima do mapa estão representados os fluxos de informação dentro e fora da empresa.

2.3.2 JIT (*just-in-time*)

O JIT é um método de produção onde apenas são produzidos os componentes necessários de acordo com a procura, no tempo necessário, mantendo um mínimo *stock* para que a produção flua. Cada processo recebe o artigo que precisa, quando precisa e na quantidade necessária (Ohno, 1978). Assim, a empresa produz e entrega pequenas quantidades de produtos, com as especificidades pedidas pelos clientes, em curtos *lead times*.

A utilização do JIT significa reduzir o inventário ao máximo, para que problemas na produção venham ao de cima, uma vez que grandes *stocks* tendem a esconder problemas. A ideia é produzir uma peça de cada vez, produzindo um fluxo de acordo com a procura do cliente (Liker, 2004).

A produção JIT funciona com base no princípio *pull*, ou produção puxada, que é a característica do TPS que liga a procura à produção.

Nos sistemas *push*, os produtos são produzidos e só depois são procurados compradores para esses produtos, os artigos vão passando de processo em processo independentemente do ritmo de trabalho dos processos seguintes; desperdiçando-se tempo e esforço. Ao contrário destes, num sistema *pull* a produção começa com a encomenda de um cliente e os artigos passam de processo em processo de acordo com a necessidade do posto seguinte (Black & Hunter, 1998).

O sistema *pull* pode ser comparado com o funcionamento de um supermercado: os clientes tiram o que precisam das prateleiras, ficando um espaço vazio. Este espaço é um sinal visual de que é necessário reabastecer, na filosofia *lean* o sinal utilizado para indicar a necessidade de produção é o *kanban* (Liker, 2004).

Kanban significa sinal e geralmente é representado com um cartão no TPS. Este cartão tem três tipos de informação: informação de recolha, informação de transporte e informação de produção. E deve acompanhar sempre os artigos ao longo de todo o processo produtivo (Ohno, 1978).

O sistema *kanban*, baseia-se no envio de um contentor vazio com um cartão a indicar o número específico de artigos a produzir, ou no envio de um cartão com a informação detalhada

dos artigos e a sua localização. Esta operação é conhecida como o sistema *kanban* que assegura a gestão do fluxo de matérias, num sistema de produção JIT (Liker, 2004).

Complementarmente à utilização de cartões *kanban*, são muitas vezes adotadas caixas *heijunka*. Estas servem para nivelar a produção através da sincronização das atividades de produção diárias com o ritmo da procura do consumidor, ou *takt time* (Bortolotti, Danese, & Romano, 2013).

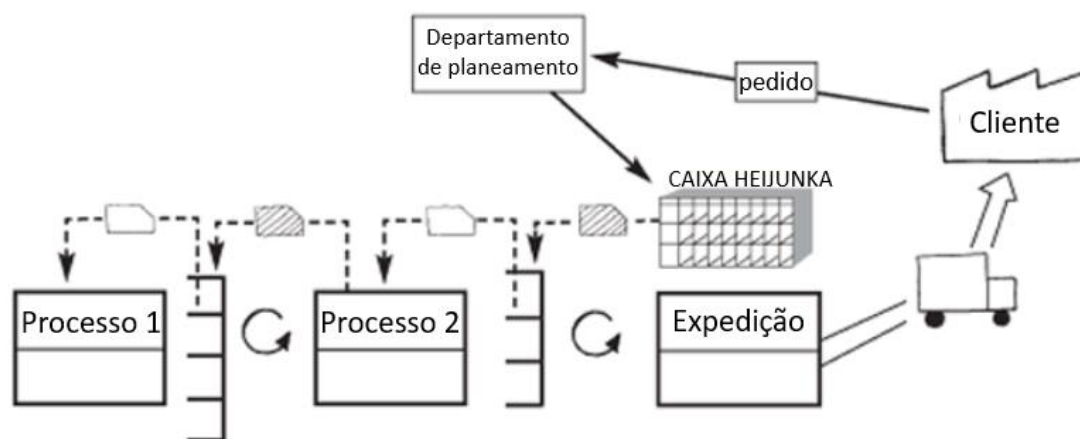


Figura 6 - Funcionamento de um sistema *pull* supermercado, com caixa *heijunka* e cartões *kanban* (Lean Enterprise Institute., Marchwinski, Shook, & Lean Enterprise Institute., 2003). Adaptada.

O processo representado na figura 6, inicia-se com o pedido do cliente, de seguida o departamento de planeamento coloca na caixa *heijunka* um cartão *kanban* de recolha (símbolo de cartão riscado). O operador retira o cartão da caixa, se existirem produtos acabados, seguem para expedição, caso contrário, o cartão *kanban* passa a cartão de produção (símbolo de cartão liso). O processo repete-se para os processos produtivos anteriores.

2.3.3 *Autonomation/jidoka*

Autonomation, ou automação com um toque humano, significa transferir inteligência humana para uma máquina. Pretende-se com esta ideia de que as máquinas, autonomamente, parem a produção quando existe algum problema, prevenindo defeitos.

Com a utilização desta técnica, também conhecida como *jidoka* (Liker, 2004), se uma máquina está a trabalhar normalmente, não é necessário um trabalhador controlar o procedimento. Desta forma, um operador pode ficar responsável por várias máquinas, sendo possível reduzir o número de operadores e aumentar a eficiência da produção.

A paragem de uma máquina força a atenção dos operadores para esta, assim é possível compreender o problema e criar uma melhoria; de outra forma a máquina continuaria a fabricar peças defeituosas e ninguém repararia. O TPS ainda estende a *autonomation* ao trabalho manual. Quando um operador deteta alguma anomalia na linha de produção, deve pará-la de imediato, verificar qual é o problema e procurar uma solução (Ohno, 1978).

Este pilar do TPS, é fundamental para a filosofia *lean*, uma vez que um dos seus principais objetivos é conseguir qualidade à primeira (Liker, 2004).

Associado ao *jidoka*, existe outro termo japonês: *andon*, que se refere a um sistema de sinalização luminosa que é utilizado para chamar a atenção dos operadores, quando um equipamento falha e é necessário resolver um problema de qualidade (Liker, 2004).

Estas paragens preventivas não são apenas importantes para a prevenção de defeitos, mas também para a segurança dos trabalhadores (Ohno, 1978).

2.3.4 5S (*seiri, seiton, seiso, seiketsu, shitsuke*)

A metodologia 5S é considerada um pré-requisito para a implementação da filosofia *lean*, uma vez que é uma das melhores ferramentas para mudar a atitude dos trabalhadores perante as atividades do dia-a-dia numa empresa. Esta consiste na criação de bons hábitos de limpeza e organização de uma empresa (Jaca, Viles, Paipa-Galeano, Santos, & Mateo, 2014).

O objetivo desta ferramenta é manter a fluidez, de acordo com o *takt time*. Além disso, pode ser usada como controlo visual, já que com a sua aplicação os problemas tornam-se visíveis (Liker, 2004).

O nome 5S corresponde a 5 palavras japonesas: *seiri, seiton, seiso, seiketsu* e *shitsuke*. Estas 5 diretrizes têm duas abordagens um pouco diferentes, Takashi Osada via os 5S como uma filosofia para a vida e para o negócio, já Hiroyuki Hirano considerava a metodologia como uma ferramenta para eliminar desperdício (Jaca et al., 2014), tal como mostra a figura 7. Usando esta última abordagem mais prática, os 5S irão ser descritos seguidamente.

Seiri (organização): é o primeiro passo da metodologia e a ideia principal é distinguir e separar os artigos necessários dos desnecessários e eliminar estes últimos. Os artigos que raramente são usados devem ser retirados do espaço de trabalho e arrumados num local adequado; já os artigos completamente desnecessários devem ser descartados da empresa. Para a implementação deste passo, são muitas vezes, colocadas etiquetas vermelhas nos artigos que não estão a ser usados para os identificar e depois avaliar onde os recolocar.

Shitsuke (disciplina): este é considerado o “s” mais difícil de implementar. Consiste em manter os procedimentos estabelecidos de uma maneira efetiva. Para isto, os trabalhadores devem ser alertados regularmente, deve ser mantida uma disciplina adequada e é também aconselhável criar um sistema de recompensas para os trabalhadores que cumpram as suas tarefas (Gupta & Jain, 2015).



Figura 7 - Metodologia 5S do ponto de vista de Liker (2004). Adaptada.

Apesar de ser uma metodologia simples, para que a sua implementação seja bem-sucedida, é necessário que todos os níveis da empresa estejam dedicados e motivados para a prática desta metodologia. Por esta razão, toda a empresa deve ser informada sobre o funcionamento e os benefícios dos 5S (Randhawa & Ahuja, 2018).

2.3.5 TPM (*total productive maintenance*)

Esta metodologia consiste em ensinar aos operadores como manter, inspecionar e limpar um equipamento (Liker, 2004).

O TPM assenta em 8 pilares: manutenção autónoma, manutenção planeada, manutenção da qualidade, melhoria focada, gestão de equipamentos, formação e educação, ambiente de segurança e saúde, e administração.

O primeiro pilar é a manutenção autónoma, consiste na responsabilização dos operadores da manutenção da máquina que operam. Assim, é assegurado que a máquina está bem limpa, oleada e inspecionada diariamente. Adicionalmente, o trabalhador ganha experiência no que toca a falhas do equipamento, conseguindo alertar atempadamente quando alguma deficiência é detetada.

O segundo pilar do TPM é a manutenção planeada, esta traduz-se numa paragem obrigatória e planeada do equipamento para a sua verificação, baseada na cadência das falhas anteriores da máquina.

A manutenção da qualidade é o terceiro pilar. São analisadas causas de erros durante o processo produtivo e formas de combater esses erros. O objetivo é atingir a mentalidade de zero defeitos e combater os principais problemas encontrados, melhorando a qualidade.

O pilar seguinte é a melhoria focada, que envolve criar pequenos grupos para trabalhar nos problemas encontrados. O foco destes grupos é a melhoria contínua.

O quinto pilar é a gestão atempada dos equipamentos. Consiste em estudar o processo produtivo e a manutenção TPM para melhorar a criação de um novo equipamento. Assim a manutenção do novo equipamento é mais simples e os operadores são envolvidos na instalação da nova máquina desde o início.

A educação e formação dos colaboradores é o sexto pilar da ferramenta. É fundamental formar os operadores e gestores para que tenham o conhecimento necessário sobre o TPM. Além disso, devem ter o conhecimento sobre os equipamentos para conseguir fazer a manutenção e deteção de falhas.

O sétimo pilar é o ambiente de saúde e segurança no trabalho, que é necessário para garantir que o trabalho é realizado sem potenciais riscos. O objetivo é atingir um espaço de trabalho seguro, sem acidentes.

O último pilar, é o TPM na administração. Traduz-se numa aplicação do TPM à administração da empresa, com o objetivo de eliminar desperdícios (Agustiady & Cudney, 2018).

2.3.6 Trabalho padronizado

A padronização do trabalho é uma maneira de manter a produtividade, a qualidade e a segurança aos mais altos níveis (Black & Hunter, 1998).

É uma ferramenta *lean* que pode ser definida como um conjunto de regras e procedimentos operacionais que são formalizados e executados. O objetivo desta ferramenta é eliminar a variação através da instrução dos operadores para a execução das tarefas de acordo com os procedimentos estabelecidos. Para isto, é necessário criar procedimentos dos processos otimizados e garantir que estes são seguidos rigorosamente (Oliveira, Sá, & Fernandes, 2017).

A padronização do trabalho é composta por três elementos:

- Tempo de ciclo padrão – tempo para a produção de um produto desde o início até chegar ao cliente;
- Sequência de trabalho padronizado – conjunto de tarefas para fazer os trabalhos da melhor forma e mais segura;
- *Work-in-process* padrão – stock mínimo a ser mantido para que seja assegurada a produção sem paragens (Bragança & Costa, 2015).

Os atrasos na produção advêm geralmente das diferenças de trabalho dos operadores, por esta razão, com o apoio das sequências de trabalho, o supervisor deve ensinar os operadores. Outra forma de combater estas diferenças é promover a entreaajuda e o trabalho em equipa (Ohno, 1978).

O trabalho padronizado, apesar de ser uma ferramenta um pouco esquecida, quando aplicada ao processo produtivo de uma empresa, gera vários benefícios para esta (Míkva, Prajová, Yakimovich, Korshunov, & Tyurin, 2016). Alguns dos benefícios relacionados com a criação de procedimentos com sequências das tarefas a realizar são apresentados seguidamente.

Redução da variabilidade: a realização do trabalho é mais estável e mais fácil de aferir, resultando em tarefas mais eficientes e com menos espaço para defeitos. Assim existe uma

melhoria na qualidade, bem como um maior controlo, resultando na redução de custos com peças defeituosas e perdas de tempo dos operadores com dúvidas de execução.

Envolvimento dos operadores: como as tarefas são realizadas segundo procedimentos os erros deixam de ser culpa dos trabalhadores e passam a ser do sistema, criando oportunidades para os trabalhadores reportarem erros e sugerirem possíveis melhorias.

Melhoria contínua: sempre que é reportada uma sugestão de melhoria, esta é estudada e implementada nos procedimentos, facilitando a mudança para as novas tarefas (Oliveira et al., 2017).

Facilidade em treinar novos operadores: estes podem fazer as tarefas com o apoio dos procedimentos criados.

Redução de acidentes: os procedimentos devem contar com as regras de segurança a seguir em cada tarefa (Míkva et al., 2016), bem como os equipamentos de proteção individual.

Flexibilidade dos operadores: os operadores conseguem aprender a desempenhar diferentes trabalhos, guiando-se pelos procedimentos, tornando-os polivalentes e a produção mais flexível (Bragança & Costa, 2015).

2.3.7 Kaizen/melhoria contínua

Kaizen significa mudança para melhor (em japonês “*kai*” significa mudança e “*zen*” bom), é uma filosofia que encoraja todos os envolvidos a identificar como e onde se podem implementar pequenas mudanças nos processos, criando melhorias para a organização e para a performance dos trabalhadores. É considerada a essência da melhoria contínua (Chiarini, Baccarani, & Mascherpa, 2018).

Os métodos e técnicas *kaizen* compreendem melhorias nos equipamentos, bem como melhorias nos procedimentos de trabalho. As melhorias no trabalho tendem a ser mais usadas, pois são mais rápidas, simples e acessíveis de implementar. Normalmente, o *kaizen* inicia-se tentando responder a um problema (Black & Hunter, 1998).

Segundo o mesmo autor, as atividades *kaizen* estão relacionadas com o conceito de equipa, uma vez que na filosofia *lean*, a equipa é vista como o veículo para a melhoria contínua. Estas atividades passam pela resolução de problemas em equipa e criação de melhorias, tendo esta a autoridade e responsabilidade pela implementação dessas melhorias.

2.3.8 Lean Six Sigma

Six Sigma é uma abordagem para a melhoria de negócios, focada nos resultados dos processos, de forma a encontrar e corrigir causas de defeitos e erros (Antony, Snee, & Hoerl, 2017). É baseada em ferramentas de análise complexas (Liker, 2004).

Os princípios *Six Sigma* podem ser usados para criar produtos e processos fiáveis, reduzindo a variação que levar à pouca qualidade (Antony et al., 2017).

As ferramentas *Six Sigma* são aplicadas sempre com o modelo de melhoria de performance, DMAIC. Este consiste em cinco passos, em que cada um é representado por uma letra. Os passos são descritos de seguida.

D – Definir os objetivos da atividade a melhorar;

M – Medir o modelo atual;

A – Analisar o sistema para identificar as diferenças entre o modelo atual e o que se quer atingir;

I – Melhorar o sistema;

C – Controlar o novo sistema (Pyzdek & Keller, 2010).

O *Lean Six Sigma* (LSS) é a combinação de duas metodologias focadas na melhoria contínua: a filosofia *lean* e o *Six Sigma* (Sunder, 2013), juntando os pontos fortes de ambas. Enquanto que a filosofia *lean* faz com que os produtos passem pelos processos rapidamente, o *Six Sigma* melhora a qualidade.

O objetivo do LSS é reduzir os custos de produção, aumentar a produtividade, melhorar a segurança e desenvolver a qualidade do produto (Cheng, 2017).

Uma limitação da filosofia *lean* é a incapacidade de lidar com problemas complexos que envolvam grandes quantidades de dados para análise e a utilização de métodos estatísticos avançados. Para estes casos, o *Six Sigma* é uma abordagem mais adequada (Antony et al., 2017). Por exemplo, adicionar ao *lean*, abordagens mais científicas à qualidade, tais como gráficos de controlo, poderiam ajudar a manter os processos sob controlo.

Em suma, a aplicação de ferramentas *Six Sigma* ajuda a metodologia *lean* a atingir o seu máximo potencial. E a implementação do *Six Sigma* sem a filosofia *lean*, leva a um conjunto de ferramentas sem estratégia ou foco para a implementação no sistema (Pepper & Spedding, 2010).

2.4 Simulação

A simulação é uma ferramenta que consiste na imitação das operações de um processo ou sistema, ao longo do tempo. É utilizada para investigar uma grande variedade de questões que se prendem pelo que aconteceria se se introduzisse uma alteração na realidade (Velarde, Saloni, Dyk, & Giunta, 2009).

Esta ferramenta é bastante recente e tem vindo a evoluir rapidamente com o aparecimento dos computadores digitais. Na indústria tem sido bastante aceite como uma prática simples e válida.

É uma maneira de testar e criar alternativas para mais tarde serem implementadas em situações reais, minimizando os riscos (Chan & Chan, 2005). Além disso, é uma forma eficiente e economicamente viável de examinar a potencial performance de um determinado processo. Complementarmente, a sua utilização também é utilizada para avaliar melhorias sugeridas a sistemas existentes (Velarde et al., 2009).

A técnica de simulação consiste na criação de um modelo computacional dinâmico, com o objetivo de estudar o problema de um ponto de vista realista, que pode vir a ser aplicado à situação real. Para isto, existem várias ferramentas computacionais de simulação com vários níveis de complexidade (Chan & Chan, 2005).

A simulação é utilizada para analisar *layouts* industriais utilizando dados do sistema, encontrar áreas de possíveis melhorias e avaliar objetivamente várias alternativas (Azadeh, Nazari, & Charkhand, 2015).

A aplicação da simulação também ajuda a indústria a perceber o valor da filosofia *lean* e quais os níveis de melhoria que podem ser atingidos com a sua implementação (Velarde et al., 2009).

Capítulo 3 – Caso Prático

Neste capítulo irá ser descrito o trabalho desenvolvido durante o período de estágio na empresa.

Inicia-se com uma breve introdução da empresa em estudo e explicação do seu processo produtivo, com o apoio da ferramenta BPMN para a modelação do processo produtivo. De seguida, é realizada uma análise aos processos da empresa e são identificadas causas para o problema definido. A análise é feita com recurso às ferramentas de análise VSM e diagrama de *ishikawa*. As melhorias seleccionadas a implementar são expostas: melhorias no *layout* industrial, metodologia 5S e trabalho padronizado. Por fim, a aplicação destas é explicada em detalhe e os resultados são apresentados com um modelo de simulação no *software* ARENA.

3.1 A empresa

A Sinepower é uma pequena empresa situada na zona industrial do Mamodeiro, com 18 colaboradores, fundada em 2003. Dedicar-se à produção de equipamentos de eletrónica de potência. É especializada na criação e produção de GPU's (*ground power units*), SFC's (*static frequency convertors*) – figura 8, e carregadores DC para veículos elétricos.



Figura 8 - Fotografia do produto SFC da Sinepower, em ambiente operacional.

Esta empresa é a única a fabricar conversores de frequência em Portugal, no entanto, como os principais clientes da empresa são a aviação e as indústrias aeronáutica, náutica e marítima (indústrias muito pequenas a nível nacional), mais de 90% da sua produção é para exportação.

A empresa tem um compromisso ao nível da garantia da qualidade, obtendo a certificação do sistema de gestão de qualidade de acordo com a norma ISO 9001:2015 pela TÜV Rheinland Portugal. A sua política de qualidade assenta em quatro premissas:

- Satisfazer e superar as necessidades dos clientes, assegurando que as mesmas se desenvolvem em conformidade, quer com os requisitos dos clientes, quer com os requisitos normativos e legais aplicáveis;
- Estabelecer relações mutuamente benéficas com fornecedores;
- Motivar os colaboradores, proporcionando-lhes oportunidades de evolução profissional e pessoal, disponibilizando-lhes formação contínua e um ambiente de trabalho compatível com as exigências dos desempenhos profissionais;
- Melhorar continuamente a eficácia do sistema de qualidade, através da definição e monitorização de objetivos e indicadores.

O objetivo da Sinpower é produzir equipamentos de confiança para uma variada gama de aplicações e ajudar o cliente a encontrar a solução ideal para a sua necessidade. Desta forma, grande parte dos equipamentos produzidos são personalizados e criados de acordo com as especificações pedidas pelo cliente.

Processo produtivo

O processo produtivo da empresa pode acontecer de duas formas, dependendo se o produto encomendado é personalizado ou *standard*. Se o produto for *standard*, este pode começar a ser produzido assim que a encomenda do cliente é confirmada, caso contrário, a encomenda segue para o Departamento de Conceção e Desenvolvimento, onde o produto a reproduzir é previamente estudado e aperfeiçoado, e só depois pode ser fabricado. Em ambos os casos, só há produção após uma encomenda.

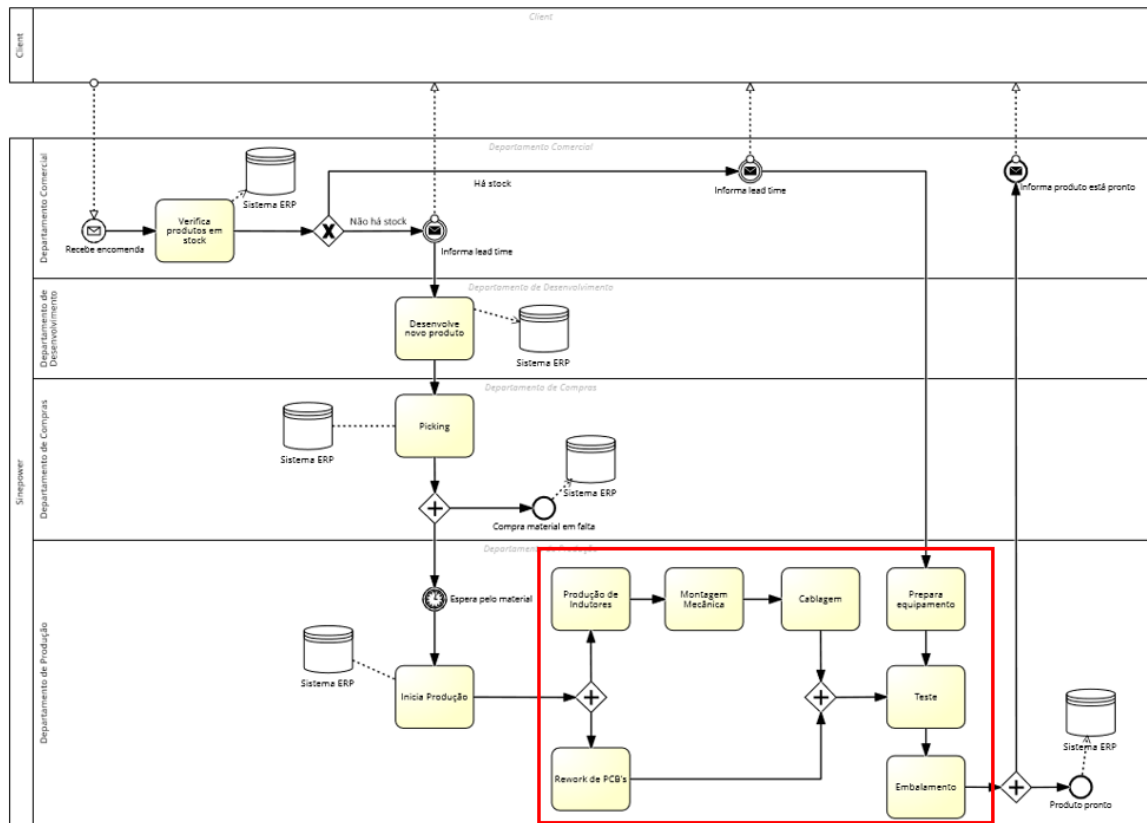


Figura 9 - Modelação dos processos de produção da Sinpower com BPMN.

A Sinpower funciona com produção por projeto, pois mesmo que o produto já esteja criado e pronto a produzir, existem sempre pequenas alterações que surgem durante o processo produtivo para que o produto seja adequado ao cliente e o mais desenvolvido possível em termos de avanços de *design* e tecnologia.

A produção inicia após a confirmação da encomenda do cliente e do processo de desenvolvimento estar finalizado (caso o equipamento seja personalizado), faz-se o *picking* da BOM e inicia-se a produção. A produção divide-se em 6 fases principais: produção de indutores, *rework* de PCB's, montagem mecânica, cablagem, teste e embalagem. Seguidamente estas fases serão apresentadas mais detalhadamente, bem como os processos modelados com a ferramenta BPMN (figura 9). O foco deste trabalho foram os processos do departamento de produção da empresa (identificado a vermelho na figura 9). Estes irão ser descritos de seguida.

Produção de indutores

Neste posto de trabalho são produzidos, manualmente, todos os indutores necessários para os equipamentos da Sinepower (qualquer tipo de produto Sinepower necessita de indutores).

A produção de indutores começa quando o operador recebe a MO e faz a análise da documentação de forma a perceber quais os tipos de indutores a produzir. Seguidamente, procede à colagem e isolamento dos núcleos. Faz a bobinagem com fio ou folha de cobre e monta os indutores com o auxílio da devida armação, com o número de núcleos e bobines requeridas. Por fim, os indutores são envernizados e testados. Os indutores prontos seguem para o posto de montagem mecânica.

Rework de PCB's

Os PCB's de todos os equipamentos da Sinepower são preparados no laboratório. Aqui os operadores, depois de receberem a MO, fazem o *rework* necessário aos PCB's segundo a documentação. De seguida, testam, selam e identificam os PCB's com etiquetas de controlo e qualidade. Estes são entregues no posto de teste.

Montagem Mecânica

O processo de montagem também é iniciado com a receção da MO. Os vários componentes são montados e colocados na caixa do equipamento, começando o produto final a ganhar forma. Os operários guiam-se por desenhos técnicos e pela BOM do equipamento.

Os passos da montagem mecânica são os seguintes: verificação e preparação da caixa para receber componentes; leitura da BOM e reunião dos componentes constantes nesta; montagens do *power pack*, filtro RFI e painel central; acomodação do transformador, indutores, condensadores, filtro RFI e restantes constituintes previamente montados na caixa; limpeza do equipamento; e verificação por um colega do posto à correta montagem (*cross-check*). O equipamento montado segue para o posto de cablagem.

Cablagem

O objetivo deste posto de trabalho, é ligar, por cabo, todos os componentes eletrónicos do equipamento. Para isto, é usado um *wiring diagram* e um documento com o dimensionamento dos cabos.

O eletricitista começa por receber o equipamento do posto de montagem mecânica e fazer uma verificação mecânica com base nos desenhos técnicos. Posteriormente, o operador faz a cablagem do painel central e do *power pack*, passando para a cablagem de potência e finalmente, sinal. Por fim, o equipamento é limpo, realizado o *cross-check* e entregue ao posto de teste.

Teste

O posto de trabalho de teste é responsável por verificar a montagem mecânica e a cablagem do equipamento, bem como testar se este está consoante com o *test report* (documento com as especificações requeridas pelo cliente). Este é o último posto onde o equipamento passa antes de ser embalado para o cliente, pelo que o controlo de qualidade aqui é crítico.

O engenheiro de teste recebe o equipamento proveniente do posto de cablagem e faz as verificações da correta montagem mecânica, cravações e caminhos de cabo. De acordo com a BOM, coloca os PCB's (provenientes do posto de trabalho dos PCB's), os fusíveis e os relés em falta. É feita a verificação de sinais, o arranque e a calibração do equipamento, de acordo com as especificações do *test report*. Todos os valores de teste são documentados. Por fim, o equipamento é selado e são colocadas as etiquetas de segurança segundo o desenho técnico.

Embalamento

Nesta fase, o equipamento é limpo, envolto em papel celofane e é colocada a caixa de contraplacado para expedição. De seguida, são tirados e registados as medidas e o peso do equipamento já embalado.

3.2 Análise dos processos

Os processos produtivos da empresa foram analisados a fim de encontrar possíveis pontos de melhoria e determinar as causas para o problema definido: os longos prazos de entrega e faltas de controlo de qualidade.

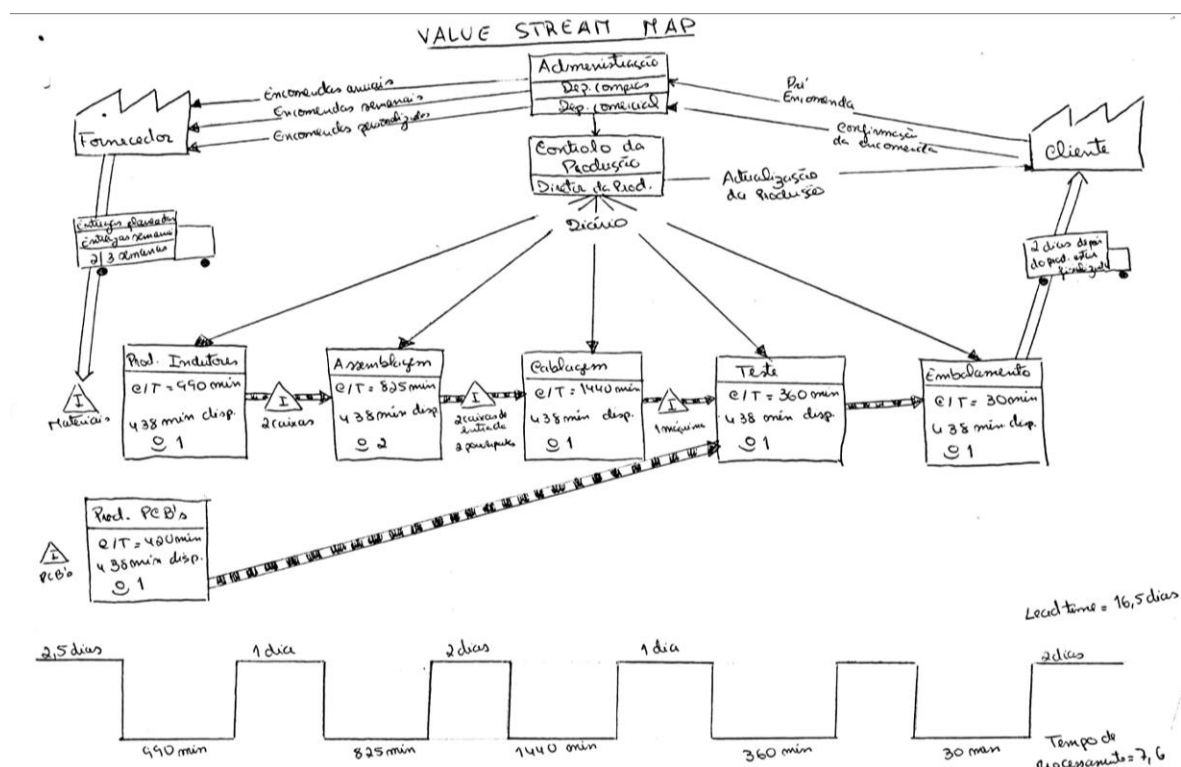


Figura 10 - VSM do estado inicial do processo produtivo da Sinpower.

Para este fim, as tarefas realizadas em cada posto de trabalho foram acompanhadas durante dois meses, onde foram retiradas notas de paragens de produção desnecessárias, bem como tempos de espera e alterações aos produtos seja por erros de produções ou modificações nos projetos. Durante este período, os operadores foram inquiridos sobre as possíveis causas de atrasos na produção e sobre o que deveria ser melhorado para a empresa obter melhores resultados de produção. Ademais, recorreu-se ao servidor da empresa e ao sistema ERP para recolher dados de quantidades de produção, tempos de produção e tipos de produtos produzidos durante o último ano. Posteriormente, todos os dados foram reunidos e analisados. Com as informações necessárias foi desenhado um VSM do estado atual da empresa (figura 10) e um diagrama de *ishikawa* (figura 11) com as causas apuradas para o problema definido.

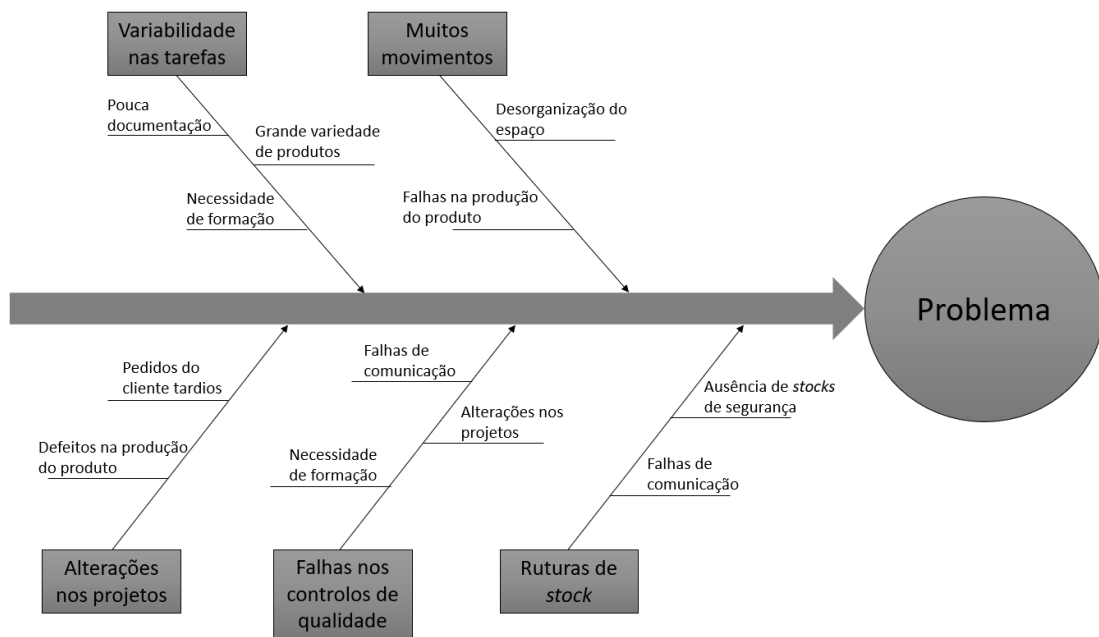


Figura 11 - Diagrama de *ishikawa* referente à produção de equipamentos Sinepower.

Depois da análise dos dados com o apoio das ferramentas, destacaram-se cinco causas:

- Variabilidade na execução das tarefas – depende do operador que realiza a tarefa, esta é realizada de forma diferente ou com uma sequência diferente. Esta variabilidade causa problemas ao nível da qualidade, pois como a sequência não é definida, os operadores podem saltar tarefas importantes ou realizá-las de formas menos adequadas para a obtenção do produto final desejável. Aliás, a duração da execução das tarefas também é afetada o que provoca oscilações nos prazos de entrega;
- Muitos movimentos – os operadores deslocam-se grandes distâncias e com bastante frequência durante a realização do trabalho para obter as ferramentas necessárias ou matérias primas. Segundo a filosofia *lean*, os movimentos são um desperdício e devem ser eliminados, pois os operadores demoram tempo nos percursos, afetando a duração das tarefas e consequentemente o *lead time*;
- Alterações frequentes nos projetos – como os equipamentos da empresa são desenvolvidos para o cliente e muitas vezes são protótipos, durante a produção surgem muitas vezes alterações ao produto. As alterações quando o produto já está em produção afetam tanto o prazo de entrega como a qualidade do produto final. Isto acontece porque o produto muitas vezes tem de recuar no processo produtivo e

as alterações são realizadas o mais rápido possível, sendo a verificação de qualidade frequentemente esquecida;

- Falta de controlos de qualidade – apesar de existirem alertas para a verificação do trabalho realizado em cada posto de trabalho, estes não são muitas vezes cumpridos. Após o trabalho em cada posto, o equipamento deveria ser verificado por um colega do posto (*cross-check*), no entanto, como isto é esquecido, o produto vai passando pelos vários postos sem ser garantida a qualidade do trabalho realizado;
- Ruturas de *stock* frequentes – os materiais pertencentes às BOM's não são várias vezes entregues aos postos de trabalho pois não existem em *stock*. A falta de materiais para a produção dos produtos causa tempos de espera, um desperdício identificado pelo *lean*. Este desperdício tem um grande impacto no *lead time*, pois o tempo de espera é dependente do prazo de entrega dos fornecedores.

Tendo em conta os resultados das ferramentas de análise e a bibliografia estudada, foram definidas duas melhorias principais a implementar: alterações no *layout* da fábrica e utilização de ferramentas *lean*.

As alterações no *layout* foram selecionadas com o objetivo de reduzir os movimentos dos trabalhadores pelos postos de trabalho e melhorar a organização do espaço, ao mesmo tempo que se prepara os espaços para a implementação da metodologia 5S.

No caso das ferramentas *lean*, a metodologia 5S e o trabalho padronizado foram escolhidas. A metodologia 5S melhorará a organização dos espaços, sendo mais fácil para os trabalhadores encontrar as ferramentas necessárias para a realização das tarefas. No caso do trabalho padronizado, é esperada uma melhoria ao nível da variabilidade da execução das tarefas e no cumprimento dos controlos de qualidade.

Ambas as implementações serão agora descritas e os resultados apresentados.

3.3 Alterações nos layouts

A melhoria da organização dos *layouts* é implementada como método para melhorar a produtividade e reduzir os custos de um processo produtivo; bem como adequar os locais de trabalho ao trabalho aí realizado. As alterações nos *layouts* industriais são também usadas como apoio às modificações que a filosofia *lean* gera numa organização. As alterações ao *layout* de dois postos de trabalho foram escolhidas como forma de chegar aos objetivos pretendidos: reduzir ou eliminar as causas do problema.

Os espaços cujas disposições foram alteradas foram os dos postos de trabalho de produção de indutores e de montagem mecânica. Estes foram os postos escolhidos pois são os que mais impacto têm na duração do processo produtivo e apresentam maior diversidade nas tarefas executadas, envolvendo mais deslocações dos operadores pelos espaços.

No posto de produção de indutores, as alterações foram realizadas sem recurso a procedimentos ou algoritmos, apenas com base na análise visual e de fluxos. No posto de montagem mecânica, o planeamento do novo *layout* foi executado com o apoio da abordagem por procedimento SLP. De seguida, a metodologia utilizada para o planeamento da disposição de cada posto será apresentada e explicada.

3.3.1 Posto de produção de indutores

Este posto de trabalho, ao contrário dos restantes, estava isolado e dependente do posto de montagem mecânica para a utilização de elementos elétricos, pois não tinha ponto de eletricidade próprio. Adicionalmente, era um posto com pouco espaço para passagem com porta-paletes para descarga de matérias primas. Neste posto também existia uma estante com material de serralharia (não utilizado no posto de produção de indutores), o que provocava movimentações desnecessárias entre o posto de indutores e o posto de montagem mecânica (local onde se encontram os equipamentos de serralharia).

Os elementos que constituem este posto são os seguintes: uma mesa para documentação (E), duas mesas para colagem de núcleos (B1 e B2), uma mesa para isolamento de núcleos (C), uma mesa para instalação de armações (D), uma estante (1), um centro de bobinagem (A) e um espaço para arrumação do porta-paletes elétrico (F).

Os objetivos a atingir com a alteração do *layout* do posto de indutores são os seguintes: maior inclusão do operário; criação de espaço para passagem com porta-paletes e eletrificação autónoma do posto.

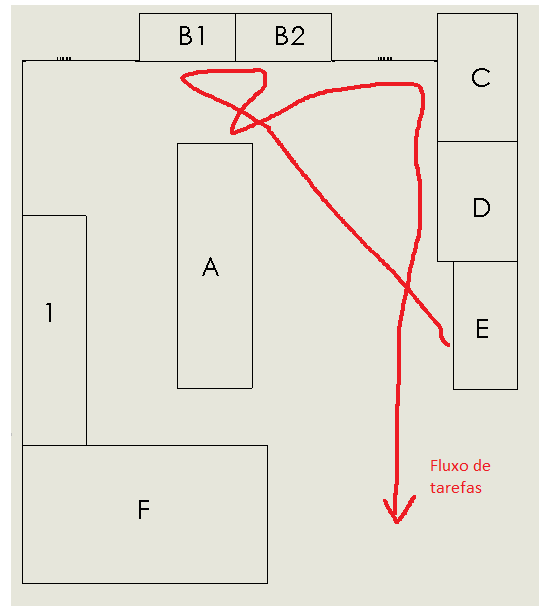


Figura 13- Layout do posto de produção de indutores inicial.

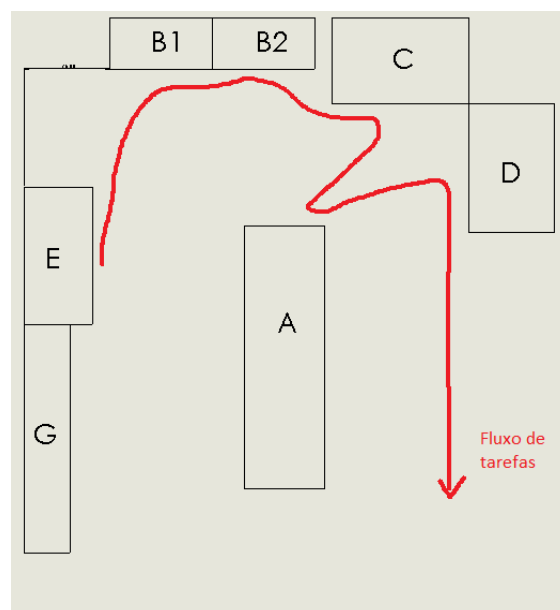


Figura 12 - Layout do posto de produção de indutores alterado.

A metodologia usada para atingir os objetivos propostos passou pela análise da sequência de tarefas realizadas em cada elemento do *layout*. Após esta análise, a ordem das mesas foi definida e seguiu-se a substituição da estante com material de serralharia por uma mais adequada às necessidades de arrumação e ao espaço. Como existia uma estante com estas propriedades a separar os postos de trabalho de indutores e montagem mecânica, esta foi usada. O espaço para arrumação do porta-paletes elétrico foi retirado e a nova estante em conjunto com a mesa para documentação ocuparam o local. Por fim, a mesa utilizada para isolamento de núcleos foi

posicionada ao lado das mesas para colagem de núcleos e um ponto de eletricidade instalado ao lado da mesa para documentação.

Com as alterações realizadas ao *layout*, todos os objetivos propostos foram alcançados. O local ficou com mais espaço e mais aberto, facilitando a passagem do porta-paletes e o movimento do operador. Uma vez que os elementos do *layout* que separavam os postos de produção de indutores e montagem mecânica foram retirados, a cooperação entre operadores foi facilitada. A autonomia do posto também foi conseguida devido à instalação do novo ponto de eletricidade.

Em relação ao fluxo de tarefas realizadas no posto, este também ficou menos confuso, pois os elementos foram colocados de acordo com a sequência do fluxo, como se pode verificar nas figuras 12 e 13). Os processos continuaram a realizar-se da mesma forma, utilizando os mesmos locais de trabalho.

3.3.2 Posto de montagem mecânica

O posto de montagem mecânica é caracterizado pela grande diversidade de tarefas que nele são realizadas. Estas passam por montagem de componentes e instalação de peças nas caixas dos equipamentos, bem como operações de serralharia (corte de calhas e varões, furações, etc.). Por esta razão, existem espaços de trabalho com funções bastante distintas que deveriam estar bastante afastados entre si. Adicionalmente, o operador do posto de produção de indutores também recorre aos equipamentos de serralharia para preparar os materiais necessários para o seu posto. Devido a tudo isto, o posto de montagem mecânica tende a ser um espaço desorganizado, com muitos operadores a trabalhar em simultâneo.

Antes de iniciar o planeamento do novo *layout*, o espaço e todos os elementos foram medidos (tabela 1).

Tabela 1 - Dimensões dos elementos do *layout*.

Número	Elemento	Dimensões (cm)
1	estante grande	215x60
2	mesa filtros	120x80
3	mesa serralharia	190x80
4	máquinas	240x80
5	estante parafusos	200x40
6	mesa painel central	220x90
7	estante painel central	200x50

Os elementos que compõem o *layout* do posto montagem mecânica são os seguintes: (1) estante grande (proveniente do *layout* antigo do posto de indutores), com material (calhas maioritariamente) utilizado na mesa de serralharia; (2) mesa de montagem de filtros, onde são montados filtros RFI, apenas contém material para os filtros e as rebitadoras pneumáticas. É necessária a mangueira de ar comprimido que se encontra ligada à mesa do painel central; (3) mesa de serralharia, aqui estão vários equipamentos de serralharia aparafusados. É utilizada maioritariamente para o corte de calhas. Como os equipamentos são elétricos é necessário que a mesa tenha uma tomada elétrica próxima. Deve ficar afastada das mesas de montagem; (4) máquinas, raramente usadas. Servem para cortar paletes de madeira e fazer furações. Têm de estar ligadas à eletricidade. Devem ficar colocadas longe das mesas de montagem do painel central e filtros, pois causam muita sujeira; (5) estante de parafusos, é utilizada durante as montagens realizadas na mesa do painel central, deve ficar junto da mesa para a montagem do mesmo; (6) mesa para montagem do painel central, são montados os painéis centrais dos equipamentos e outros componentes necessários. A esta mesa estão ligadas a mangueira de ar comprimido e um cabo elétrico, pelo que não pode ser movida; (7) estante de apoio à montagem do painel central, contém material para a montagem do painel central e de outros componentes do equipamento. Deve ficar próxima da mesa para montagem do painel central.

As alterações ao *layout* deste posto têm como objetivo reduzir os movimentos dos trabalhadores entre os elementos do espaço para o mínimo e separar as operações de serralharia (“operações sujas”) das operações de montagem (operações que devem ser realizadas com o ambiente limpo, pois envolvem o produto final).

Tabela 2 - Diagrama de relações.

	1	2	3	4	5	6	7
1		U	E	I	U	U	U
2			X	X	O	E	U
3				I	U	X	U
4					U	X	X
5						E	O
6							I
7							

O planeamento do novo *layout* foi realizado com o apoio da abordagem por procedimento SLP. Os passos do procedimento usados foram, os seguintes:

- a. Criação de um diagrama de relações. Os elementos do *layout* foram numerados de 1 a 7 e as relações entre eles classificadas com as letras A, E, I, O, U e X, de acordo com a proximidade requerida (tabela 2);
- b. Desenho do diagrama de relações de proximidade (figura 14). De acordo com as classificações das proximidades, os elementos, representados em nós, foram ligados entre si;
- c. Adição de restrições práticas. Os condicionantes deste espaço eram os pontos de eletricidade e o ponto de ar comprimido. Como a mesa do painel central tem de estar a ambos os pontos, na prática esta tornou-se um elemento estático do espaço;
- d. Geração de possíveis *layouts* e avaliação. Com base no diagrama de relações e nas restrições práticas, vários *layouts* foram gerados e avaliados, chegando-se à decisão do *layout* a implementar;
- e. Implementação do novo *layout*. A alteração do *layout* foi realizada na segunda semana de dezembro, altura em que a empresa tinha poucas encomendas, de forma a minimizar os transtornos para a produção. Durante as mudanças, verificou-se que a mesa de serralharia ficava posicionada demasiado próxima das marcações para posicionar as caixas dos equipamentos em produção. Esta problemática foi resolvida aparafusando uma das máquinas à mesa de serralharia, reduzindo o comprimento do

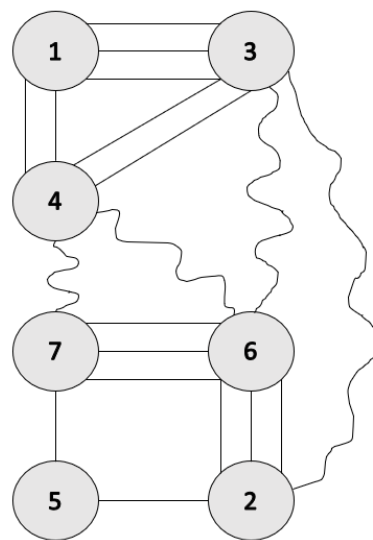


Figura 14 - Diagrama de relações de proximidade.

elemento “máquinas” para metade e criando espaço na parede para encostar a mesa de serralharia. Desta forma a mesa ficou suficientemente afastada das marcações, como pretendido. Posteriormente ao reposicionamento de todos os elementos, os extintores foram instalados.

A fim de verificar as diferenças dos movimentos realizados pelos operários durante as tarefas, estes foram observados antes da alteração do *layout* e depois. Os percursos foram desenhados nos esquemas de ambos os *layouts* e as distâncias totais medidas.

A melhoria implementada resultou na divisão do posto de trabalho em dois espaços: espaço de montagem e espaço de serralharia.

Para a obtenção dos resultados, desenhou-se o *layout* inicial com as deslocações efetuadas pelos operadores durante a realização das tarefas de montagem e de serralharia (figura 15). De seguida, as distâncias percorridas durante os movimentos foram medidas e foi criada a tabela 4, com as distâncias entre os elementos nos quais existia fluxo.

Tabela 2 - Matriz de distâncias iniciais (cm).

	1	2	3	4	5	6	7
1		x	960	x	x	x	x
2			x	x	x	810	x
3				x	x	595	x
4					x	x	x
5						90	x
6							150
7							

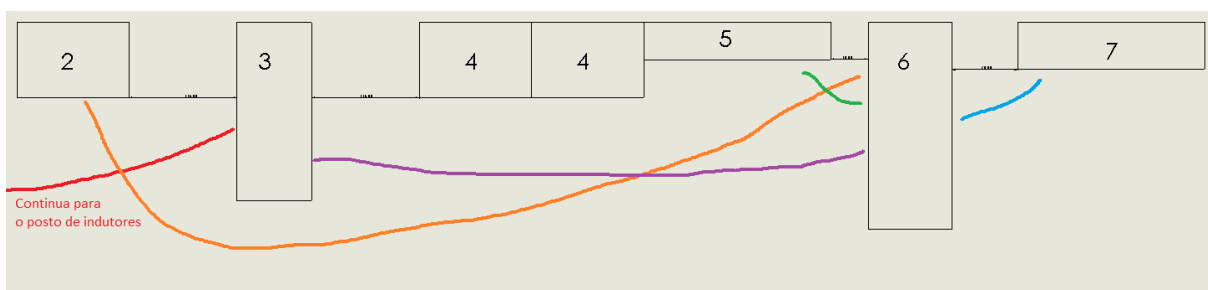


Figura 15 - *Layout* inicial do posto de montagem mecânica.

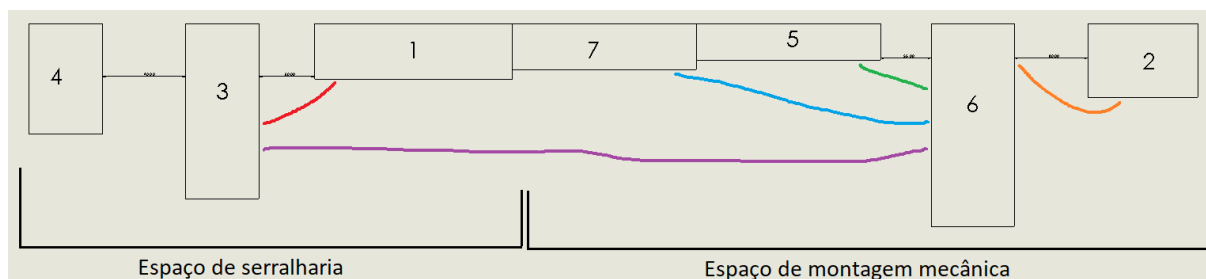


Figura 16 - Novo *layout* do posto de montagem mecânica.

Tabela 3 - Matriz novas distâncias (cm).

	1	2	3	4	5	6	7
1		x	130	x	x	x	x
2			x	x	x	150	x
3				x	x	730	x
4					x	x	x
5						90	x
6							240
7							

Após as alterações realizadas, uma nova matriz com as novas distâncias percorridas foi produzida (tabela 5), tal como um desenho do novo *layout* com as deslocações representadas (figura 16).

Com base nas tabelas de distâncias percorridas, foram calculadas as distâncias totais antes das alterações e após as alterações; e a percentagem de distâncias reduzidas (ou melhoria).

Somatório total das distâncias percorridas iniciais: 2605 cm

Somatório total das distâncias percorridas finais: 1340 cm

% de melhoria (diferença/somatório inicial): 48,56%

Em suma, com as alterações ao *layout*, conseguiu-se tanto a separação do espaço para as “operações limpas” e “operações sujas”, prevenindo os produtos de apanharem sujidade desnecessária durante o processo de montagem; como a redução das distâncias percorridas em cerca de 49%, reduzindo os tempos que os operários demoravam a deslocar-se pelo espaço. Estes resultados foram obtidos sem que houvesse qualquer alteração nos processos.

3.4 Metodologia 5S

A metodologia 5S propõe um espaço de trabalho mais arrumado e limpo, responsabilizando cada trabalhador por estas tarefas no seu posto de trabalho. Esta metodologia foi escolhida dada a sua simplicidade de implementação e os bons resultados pela qual é caracterizada. Tendo em conta as causas do problema em estudo e como a metodologia atua, ponderou-se a aplicação da mesma.

A implementação da metodologia de 5S pretende reduzir as movimentações dos operadores na procura de materiais e ferramenta durante a realização dos trabalhos; as ruturas de stock com a devida identificação dos materiais, facilitando a visualização do que está em falta e agilizando as encomendas; e melhorar a qualidade dos produtos com a produção num espaço limpo e arrumado.

A Sinepower já promovia atividades relacionadas com a metodologia 5S, sendo que todos os postos da produção, têm rotinas diárias de arrumação e limpeza.

Os 5S foram aplicados nos postos de trabalho onde a falta de organização e limpeza era mais notória: postos de produção de indutores e montagem mecânica. No entanto, a metodologia foi estendida aos restantes postos de trabalho. O processo de implementação iniciou-se durante as alterações nos *layouts*. Aproveitaram-se as mudanças para limpar estantes e mesas, retirar artigos desnecessário e reorganizar o material em compartimentos adequados e identificados. De seguida, os primeiros 3 “S” foram implementados no posto de teste, o material desnecessário encontrado foi eliminado e foram colocadas novas caixas de arrumação. Por fim, foi realizada uma sensibilização a todos os trabalhadores do departamento com o objetivo de manter as rotinas criadas.

Seiri (organização)

Este passo consiste na separação dos materiais e ferramentas necessários dos desnecessários para a realização dos trabalhos no posto. Estes últimos devem ser retirados do posto e arrumados num local adequado, se não forem usados na empresa, devem ser eliminados.

No posto de produção de indutores foram encontrados vários materiais que não eram necessários, tais como: fita marcadora de chão; tinta; rolo de pintura e indutores não conformes. A fita, a tinta e o rolo foram colocados no armazém, enquanto que os indutores foram desfeitos e o seu material foi reciclado.

No posto de montagem mecânica, as estantes continham artigos não usados no posto e não conformes. Foi retirada uma caixa com material elétrico: vários relés, um IGBT e uma ficha.

Este material foi testado e o que se encontrava em boas condições, arrumado no armazém e o restante colocado no lixo eletrônico. Caixas com parafusos muito sujos ou danificados foram eliminadas e ainda foram colocados em armazém tampos de mesas que estavam nas prateleiras superiores de uma estante.

Por fim, este “s” foi posto em prática no posto de teste, aqui existiam vários desenhos técnicos e etiquetas obsoletos que foram excluídos.

Seiton (arrumação)

Na Sinepower, já existia uma preocupação com a arrumação dos espaços. A arrumação e organização da ferramenta é da responsabilidade de cada operador e existe um carrinho com ferramenta para cada trabalhador devidamente identificada. Ademais, todo o chão de fábrica está marcado com os locais onde colocar as paletes, locais de trabalho, locais de estacionamento de empilhador e porta-paletes elétrico e extintores. Por fim, a grande maioria dos materiais disponíveis nos postos de trabalho estão devidamente identificados com etiquetas e em caixas adequadas e de fácil acesso.

O posto de produção de indutores, depois de ser alterada a estante de arrumação, os materiais necessários foram colocados em caixas adequadas com a devida identificação e o chão foi remarcado com as novas dimensões do posto.

No posto de montagem mecânica, depois das alterações no *layout*, todos os materiais foram retirados das estantes e reorganizados. Na estante de parafusos, todos os artigos foram colocados em caixas mais adequadas e identificadas.

No posto de trabalho de teste, as várias etiquetas de identificação deixaram de estar num dossiê em conjunto com desenhos técnicos, fora da bancada de teste. Estas foram separadas em caixinhas e localizadas na bancada do posto. Os desenhos técnicos das etiquetas para equipamentos *standard* foram impressos, plastificados e colocados na parede por cima das caixas das etiquetas.

Seiso (limpeza)

Tal como a arrumação, a empresa incentiva a limpeza dos locais de trabalho. Por esta razão, a maioria dos postos de trabalho encontravam-se bastante limpos. No entanto, depois da reorganização dos espaços dos postos de produção de indutores de montagem mecânica, todos os elementos (estantes, mesas, etc.) foram limpos, bem como o espaço.

Seiketsu (padronização)

Na Sinepower já existiam rotinas de limpeza e arrumação diárias, onde os trabalhadores são responsabilizados por manter estas rotinas. No final de cada dia de trabalho, são guardados 15 minutos para a limpeza e arrumação do posto. Além disso, todas as sextas-feiras é elaborada uma limpeza “geral”, sendo disponibilizados 30 minutos para a sua realização.

Shitsuke (disciplina)

Este último “s” baseia-se em manter as rotinas criadas, ano após ano. Por esta razão não é possível verificar se é cumprido. No entanto, foi feita uma sensibilização aos colaboradores e criado um cartaz com a descrição da metodologia para cada posto de trabalho, com o objetivo de relembrar os trabalhadores que é necessário manter a limpeza e arrumação dos espaços, bem como eliminar os artigos desnecessários para a realização do trabalho.

Após todos os “Ss” da metodologia serem implementados, os postos de trabalho ficaram mais limpos e organizados. É de esperar que com as alterações, os materiais e ferramentas fiquem mais fáceis de encontrar, nas localizações corretas devidamente identificadas. Assim, os trabalhadores perdem menos tempo a procurar os artigos necessários para as suas tarefas e os seus movimentos também são reduzidos. Ademais, a utilização dos corretos materiais e ferramentas deve produzir uma maior qualidade nos produtos. Por fim, a segurança no chão de fábrica também é melhorada devido às novas marcações e identificações.

3.5 Trabalho padronizado

O trabalho padronizado é uma ferramenta *lean* utilizada com o objetivo de melhorar a produtividade, a qualidade e a segurança de um espaço de trabalho. Uma das formas mais comuns de introduzir o trabalho padronizado numa empresa é através da criação de instruções de trabalho. Estas consistem na série de passos que são necessários realizar para completar uma tarefa. Ademais, também contêm regras de segurança, os equipamentos necessários para a realização do trabalho e os equipamentos de proteção individual a adotar.

Tendo em conta os benefícios introduzidos pelo trabalho padronizado e as necessidades da empresa, a elaboração de instruções de trabalho foi proposta com o propósito de eliminar algumas das causas do problema. As causas em que esta ferramenta *lean* pretende atuar são a

variabilidade na execução de tarefas, os movimentos desnecessários, o impacto das alterações nos projetos e na falta de controles de qualidade.

A metodologia usada para a criação das instruções de trabalho, seguiu vários passos. Iniciou-se com a observação do trabalho realizado em cada posto pelo operador com mais experiência, anotando-se os vários passos e equipamentos utilizados em cada tarefa, em colaboração e diálogo com os operadores. Ainda foi realizado um registo fotográfico das tarefas para uma melhor documentação dos passos seguidos. De seguida, foram estudados os equipamentos de proteção individual adequados para a realização do trabalho e o documento redigido. Com o documento escrito e impresso, um operador de cada posto realizou as tarefas de acordo com o mesmo, a fim de o validar e corrigir incoerências ou outras incorreções de execução. Por fim, as instruções de trabalho seguiram para aprovação pela gerência. A metodologia está demonstrada no fluxograma da figura 17. Após os documentos serem criados, estes foram distribuídos pelos respetivos postos de trabalho, de forma a que todos os colaboradores tivessem acesso às instruções durante a realização das tarefas.

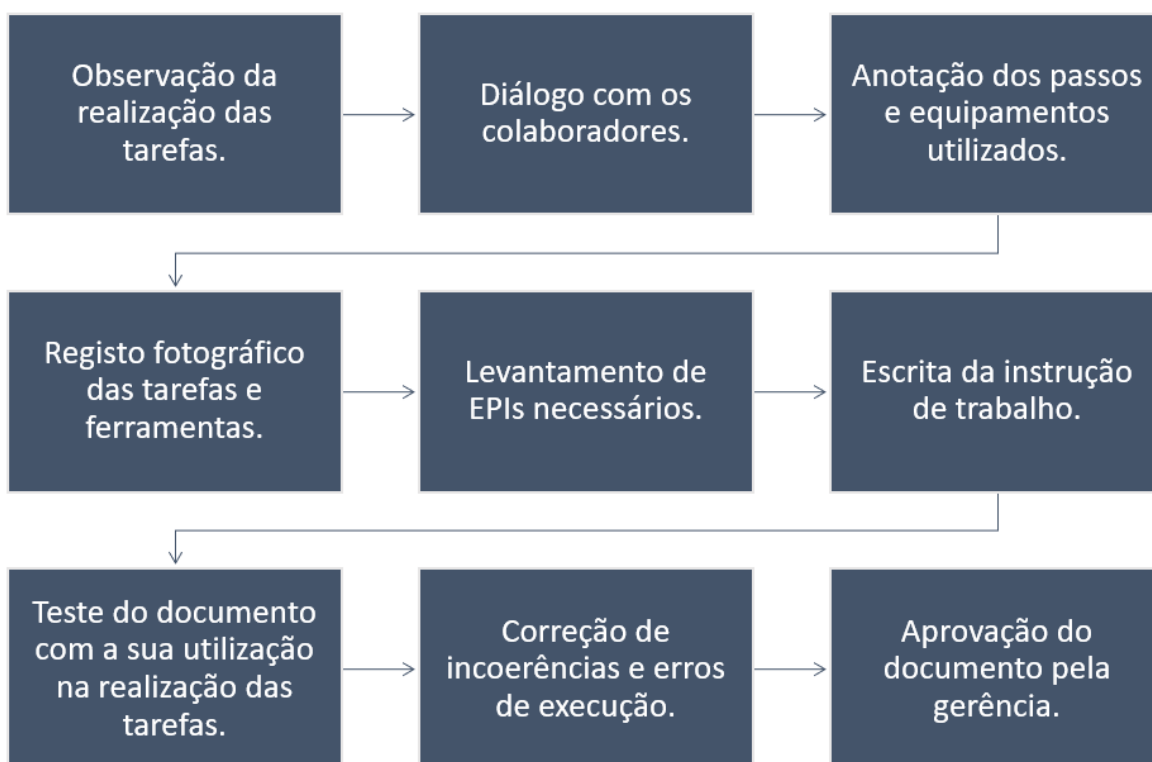


Figura 17 - Metodologia utilizada na criação das instruções de trabalho.

Com as instruções de trabalho, os trabalhadores seguem os vários passos, eliminando possíveis incertezas de execução e paragens para esclarecer dúvidas. Assim, tanto a variabilidade na realização das tarefas por diferentes operadores, como os movimentos desnecessários são eliminados. Seguindo as instruções, é esperado que os controlos de qualidade sejam menos esquecidos e o impacto das alterações nos produtos em produção seja minimizado, pois os trabalhos são realizados de forma mais rápida e simples.

Adicionalmente, operadores de diferentes postos de trabalho podem realizar tarefas para as quais não estão treinados, apoiando os postos com mais trabalho acumulado. E clientes interessados no processo de teste dos equipamentos podem seguir os vários passos através das instruções de trabalho de teste.

3.6 Simulação com software ARENA

Como forma de analisar impactos de alterações introduzidas em sistemas, a simulação é uma ferramenta muito usada, por ser de utilização simples e apresentando resultados geralmente fidedignos. A sua aplicação para validar as melhorias com alterações dos layouts e implementação da filosofia *lean*, é uma prática comum.

A simulação com *software* ARENA, foi realizada com o objetivo de analisar a duração dos processos dos postos de trabalho de produção de indutores e de montagem mecânica, antes e após a implementação das alterações nos *layouts* dos postos de trabalho e metodologia 5S. Estes foram os postos escolhidos para a simulação, uma vez que foram os postos que mais alterações sofreram com as implementações. Para uma comparação dos processos antes e após as alterações efetuadas, foram simulados os dois cenários com recurso a dados das duas situações. Para uma simplificação, a simulação dos processos antes das implementações irá ser referido como cenário antes, e a simulação dos processos após as alterações, será mencionado como cenário após.

Os dados utilizados na simulação são provenientes apenas da produção de SFC's de 15kVA, de forma a reduzir a variabilidade de resultados e melhorar as comparações de tempos. Foi escolhido o produto SFC de 15kVA, pois em 2016 correspondeu a cerca 9% das encomendas, em 2017 a 34% e em 2018 a 11%, percentagens altas tendo em conta que nesses anos a empresa produziu em média cerca de 16 equipamentos diferentes por ano. Já no início de 2019 foram produzidos 4 produtos deste tipo.

A metodologia utilizada para fazer a simulação dos processos realizados nos postos de trabalho iniciou-se com a recolha de tempos de cada uma das tarefas antes das alterações aos *layouts*, estes dados foram obtidos consultando o ficheiro com os registos das fichas de produção e qualidade relativos ao ano de 2018 no servidor da empresa. De seguida, consultado o sistema ERP e o servidor, o espaçamento entre lançamentos de ordens de produção foi obtido. As expressões de distribuições de probabilidade de todos os tempos (tanto de tarefas como de espaçamentos entre ordens de produção) foram conseguidas com a ferramenta "input analyzer" do *software* ARENA. Por fim, os processos foram modelados e parametrizados com as distribuições de tempos adequadas, bem como os parâmetros de duração de modelação, num modelo lógico. Após a simulação do cenário antes, com as distribuições iniciais e as informações necessárias retiradas dos relatórios do simulador, as parametrizações relativas às durações dos

processos foram alteradas para as novas distribuições de tempos. Estes novos tempos foram obtidos através da cronometragem da realização das tarefas nos postos de trabalho.

A metodologia está simplificada no fluxograma da figura 18.

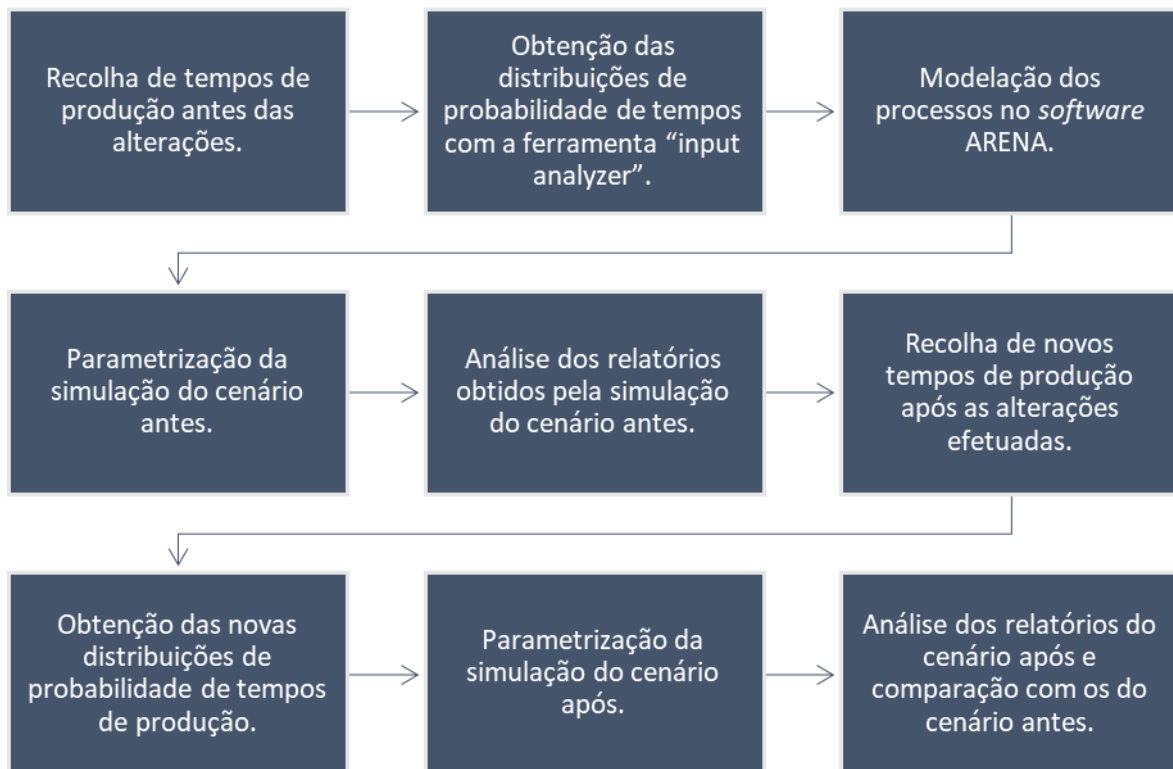


Figura 18 -Metodologia usada para a criação da simulação dos processos realizados nos postos de produção de indutores e de montagem mecânica, antes e após as alterações efetuadas.

De seguida, os vários passos da criação do modelo lógico de simulação (figura 19) serão explicados mais detalhadamente e os resultados apresentados.

- a. Obtenção de distribuições de probabilidade adequadas utilizando a ferramenta "input analyzer". Todos os dados temporais foram separados em blocos de notas, de forma a possibilitar a análise destes pela ferramenta do ARENA. Cada bloco de dados foi carregado, individualmente, para o "input analyzer" e foi selecionada a opção "fit all", da qual surge a distribuição de probabilidade que mais se aproxima do conjunto de dados carregado. De seguida, para verificar se a distribuição é adequada, o "input analyzer" faz o teste de Kolmogorov-Smirnov, e se o *p-value* obtido for superior a 0.05, a distribuição é adequada. Após esta verificação, a expressão da distribuição é copiada e adicionada ao módulo do processo correspondente;

- b. Modelação dos processos dos postos de trabalho. O posto de trabalho de produção de indutores divide-se em 6 tarefas: revisão da documentação, colagem e isolamento de núcleos, bobinagem, montagem da armação, envernizamento e verificação. Cada uma destas tarefas concretizou-se num módulo “process” e foi feito o mesmo para as tarefas da montagem mecânica. Esta foi dividida em montagem do *powerpack*, montagem do filtro RFI, verificação da caixa, fixação da caixa à paleta, preparação da caixa, montagem do transformador, montagem da caixa de entrada, montagem dos componentes, limpeza e *cross-check*. Como ambos os postos de trabalho iniciam os processos com uma MO, esta é representada por um módulo “create” e de seguida com um módulo “separate” para duplicar a ordem de produção e iniciar os processos em ambos os postos de trabalho. Uma vez que quando a produção de indutores termina, estes são entregues ao posto de montagem mecânica e colocados dentro da caixa do equipamento, é utilizado um módulo “match” para juntar as entidades “conjunto de indutores” e “caixa”. Adicionalmente, foram incorporados os módulos “dispose”, para finalizar o modelo; “assign” para alterar as entidades MO para conjunto de indutores/ caixas; e “record” para contabilizar o tempo que passa desde que a MO é criada até que a entidade caixa sai do sistema;
- c. Parametrização da simulação do cenário antes. As distribuições de probabilidade obtidas com o “input analyzer”, foram adicionadas a cada módulo. De seguida, a simulação foi definida com cinco replicações com 252 dias (dias úteis num ano) e com oito horas de trabalho por dia, o que corresponde à simulação de 5 anos de trabalho nas mesmas condições;
- d. Recolha de dados dos relatórios da simulação do cenário antes. No final de correr a simulação, o *software* apresenta vários dados sobre o modelo. Os dados recolhidos são relativos à ocupação de recursos, filas de espera, entidades no sistema, processos e tempo total no sistema (dado retirado de forma específica com um módulo “record”).

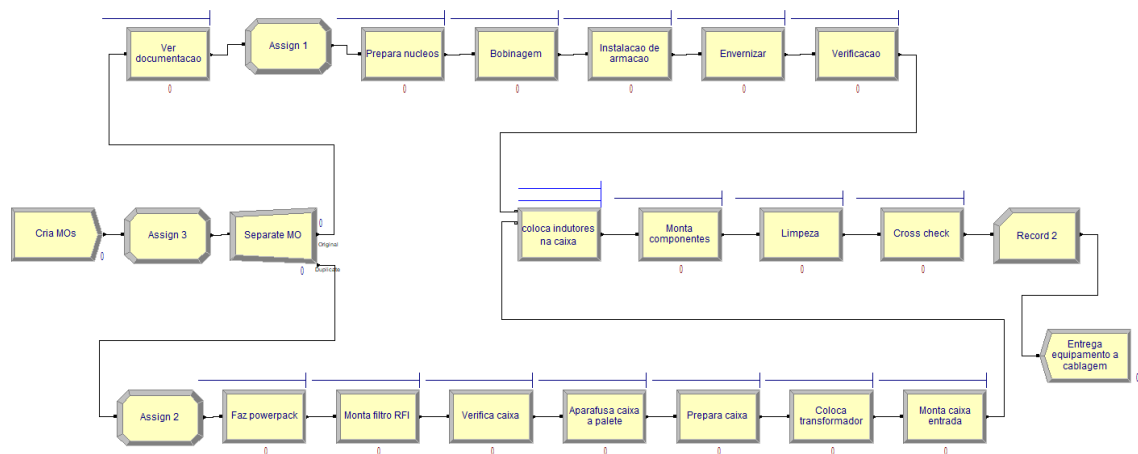


Figura 19 - Modelo lógico de simulação dos processos realizados nos postos de produção de indutores e de montagem mecânica, no software ARENA.

Após a recolha de dados relativa à simulação do cenário antes, estes parâmetros foram modificados para novas distribuições calculadas no “input analyzer”, com os novos tempos de produção, dando origem ao cenário após. O modelo correu e os relatórios de dados foram obtidos.

Os valores obtidos em ambos os relatórios de simulação foram colocados numa folha de cálculo, para facilitar a sua análise. Os dados que se consideraram mais relevantes na avaliação dos cenários foram a quantidade de peças em *WIP (work-in-process)*, a duração dos processos (em horas), o tempo máximo em fila de espera (em horas), a utilização instantânea dos recursos (operador de fabrico de indutores, dois operadores de montagem mecânica e forno) e o tempo total médio desde que a ordem de produção é lançada, até que o equipamento está pronto para entregar ao posto de cablagem.

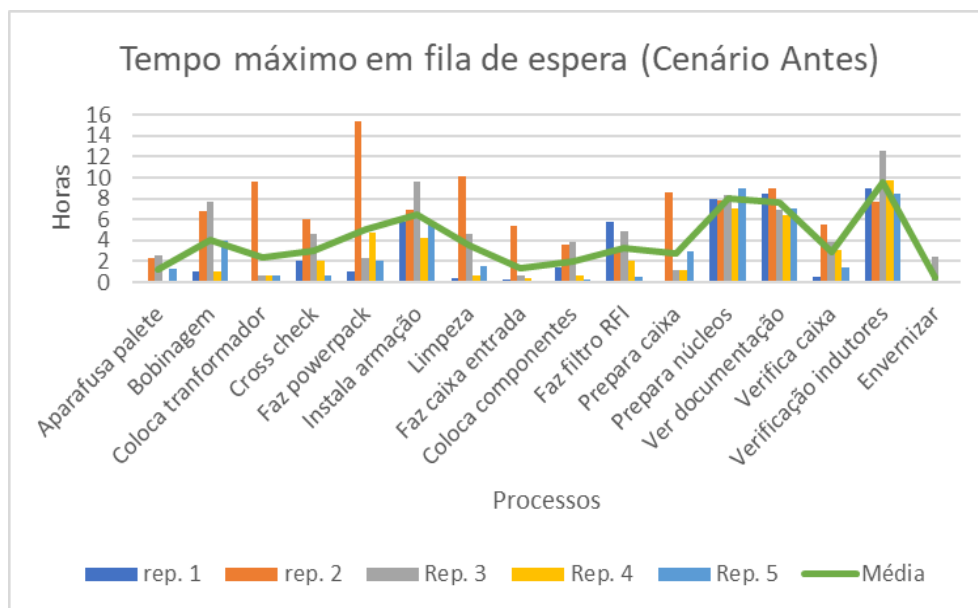


Figura 20 - Gráfico com os dados relativos ao tempo máximo em fila de espera nos vários processos, no cenário antes.

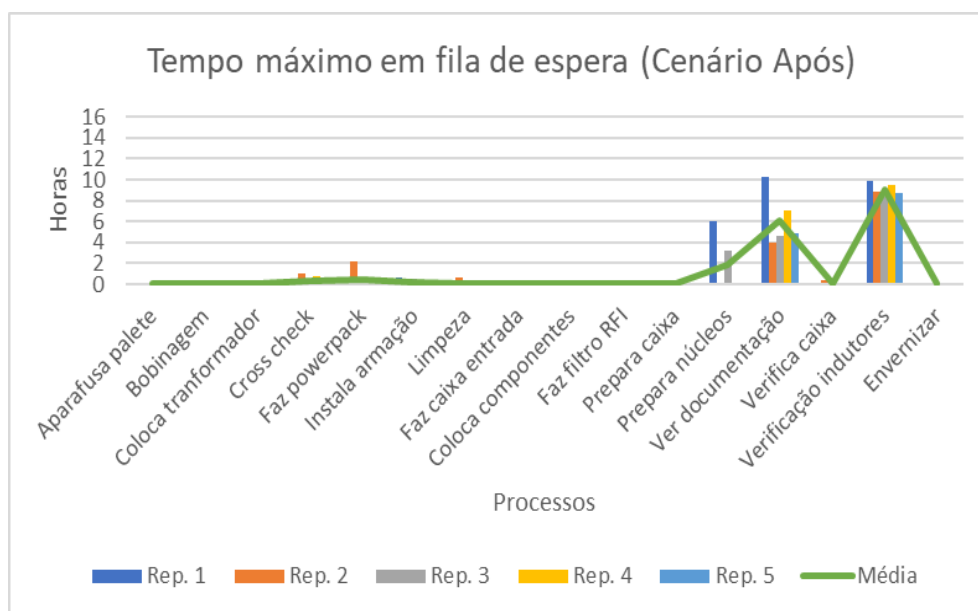


Figura 21 - Gráfico com os dados relativos ao tempo máximo em fila de espera nos vários processos, no cenário após.

Na comparação dos dois cenários, a duração dos processos manteve-se, conclusão que faz sentido tendo em conta que não existiram alterações nas tarefas. O mesmo aconteceu com a utilização dos recursos. As maiores diferenças entre cenários notam-se na quantidade de WIP, que no cenário antes é sempre superior a uma unidade, enquanto que no cenário após mantém-se sempre abaixo de uma unidade, com a exceção da replicação número 4. Também no tempo máximo em fila de espera, houve disparidade entre cenários. No cenário antes, o tempo máximo médio em fila de espera é superior a uma hora em todos os processos, com exceção do processo envernizar. Enquanto que no cenário após apenas os processos de preparação de núcleos, verificação da documentação e verificação de indutores têm fila de espera com duração máxima média superior a uma hora.

Assim, conclui-se que no cenário após, somente os processos do posto de produção de indutores têm filas de espera com duração crítica. O tempo total médio decorrido entre a criação da ordem de fabrico até ao equipamento estar pronto para entregar à cablagem, também sofreu uma transformação entre cenários. No cenário antes, esse tempo variou entre cerca de 30 horas e 35 horas, com uma média de 32,5 horas e um intervalo de confiança de 2 horas. Enquanto que no cenário após a variação foi entre 22 horas e 23 horas, com uma média de 22,6 horas e um intervalo de confiança de 0,4 horas.

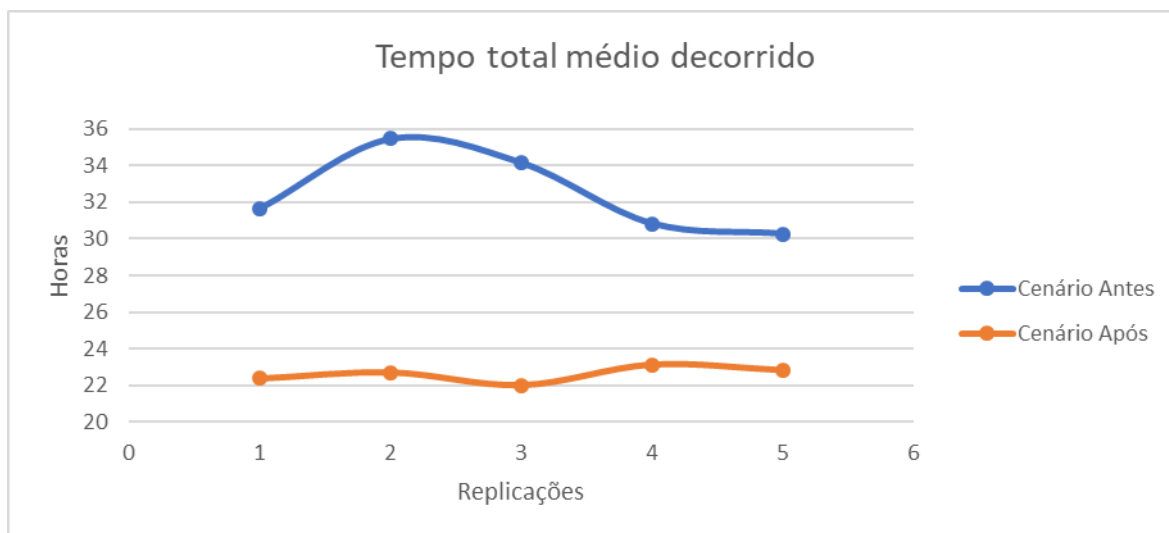


Figura 22 - Gráfico dos dados das primeira e segunda simulações, do tempo total médio desde que a ordem de produção é lançada, até que o equipamento está pronto para entregar ao posto de cablagem.

Estes resultados demonstram que as alterações implementadas são positivas para o processo produtivo da empresa. A drástica diminuição do tempo em filas de espera entre processos (figuras 20 e 21), leva a uma redução do *work-in-process* provocando uma redução nos custos com inventário e espaço ocupado no chão de fábrica.

Relativamente à comparação da duração total dos processos realizados nos dois postos de trabalho, ilustrada no gráfico da figura 22, dois valores em cada cenário estão fora do intervalo de confiança de 95% (as replicações 2 e 5 no cenário antes e as replicações 3 e 4 no cenário após), no entanto, verifica-se uma melhoria na duração total média. Percentualmente, comparando as médias da duração total dos processos, do cenário antes para o cenário após, calculou-se uma redução na duração de cerca de 30,36%. No gráfico da figura 22, ainda é possível verificar que há mais dispersão de pontos no cenário antes, concluindo-se que após as alterações os tempos de produção nos dois postos tornaram-se mais estáveis.

Com a análise destes resultados, é possível concluir que a reorganização dos postos de trabalho e a metodologia 5S, irão influenciar o do *lead time* da empresa. Com os processos nos dois postos de produção iniciais mais curtos e constantes, é possível fazer melhores previsões de prazos de entrega para informar clientes e fazer o planeamento da produção.

Capítulo 4 – Conclusões e perspectivas futuras

A atual competitividade do mercado, devido à sua globalização, leva as empresas a procurar métodos de melhorar os seus produtos e processos, de forma a ir de encontro às expectativas do cliente.

A Sinepower, operando num mercado global, tem a necessidade de reduzir os seus prazos de entrega aos clientes e melhorar a qualidade dos seus produtos.

Partindo do pressuposto de que a duração do processo de desenvolvimento dos produtos Sinepower é ótima e de que os *stocks* na empresa se têm de manter mínimos, as alterações nos processos da empresa, para reduzir o *lead time* e garantir a qualidade dos produtos, teriam de partir do departamento de produção. Com estes pressupostos e análise dos processos produtivos da empresa, foi proposta a alteração do *layout* de dois postos de trabalho, e a implementação da filosofia *lean* em todo o espaço produtivo.

As ações de melhoria iniciaram-se com as alterações dos *layouts*, de seguida a metodologia 5S foi implementada em todo o chão de fábrica e por fim, as instruções de trabalho foram escritas e distribuídas pelos postos de trabalho.

Com a análise dos resultados das alterações nos *layouts* de postos de trabalho, obtidos tanto pela observação, como pela medição de espaço percorrido, é possível concluir que existiu um impacto positivo nos processos de ambos os postos de trabalho. No caso do posto de produção de indutores a melhoria foi ao nível da organização do espaço, no caso do posto de montagem mecânica foi ao nível do espaço percorrido pelos trabalhadores que foi reduzido em cerca de 49%.

A simulação dos processos realizados nos postos de produção de indutores e de montagem mecânica, mostra uma redução da duração total das tarefas em 30%. Apesar dos resultados apenas auferirem os tempos de dois postos de trabalho, é de notar que a percentagem representa cerca de 10 horas de diferença, ou seja, um pouco mais que um dia de trabalho. Além disso, estes são o primeiro e segundo postos na linha de produção, impactando sempre o trabalho dos postos seguintes e, por conseguinte, o tempo total de produção.

Em relação à criação de instruções de trabalho, apesar de não ter sido provado que estas tiveram impacto na qualidade dos produtos, melhoraram o processo de aprendizagem da

realização das tarefas. Colaboradores de postos de trabalho que não os seus e clientes interessados nos processos de produção dos equipamentos, puderam aprender e realizar tarefas para as quais não estavam habilitados, seguindo as instruções de trabalho.

Em suma, a implementação da metodologia 5S em conjunto com as alterações nos *layouts* industriais, foi uma resposta positiva face ao problema dos longos *lead times*. As instruções de trabalho melhoraram os processos de aprendizagem de novos colaboradores, poupando tempo em formação e possíveis dúvidas que pudessem ser respondidas incorretamente por colegas.

Como principais limitações, friso a reduzida quantidade de dados disponíveis em relação ao espaçamento temporal entre lançamentos de ordens de produção e a difícil recolha de dados fidedignos, tendo em conta que cronometrar tarefas manuais de longa duração é uma tarefa fácil. A recolha de dados de apenas 5 replicações da simulação também limitou o estudo, originando dados fora do intervalo de confiança de 95%.

Em relação a perspetivas futuras, o estudo dos restantes *layouts* para uma possível alteração seria de interesse. A avaliação da qualidade do produto quando chega ao posto de trabalho seguinte, de forma a verificar o impacto das instruções de trabalho na qualidade do produto durante todo o processo produtivo. O estudo das matérias primas mais utilizadas e comuns a todos os equipamentos, com o objetivo de perceber se há a possibilidade e se faz sentido numa empresa com produtos tão diversificados existir *stock* de segurança. A implementação de ferramentas *Lean Six Sigma*, para controlo e melhoria da qualidade nos processos e produtos.

Bibliografia

- Abdulmalek, F. A., & Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of Production Economics*, 107(1), 223–236. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.09.009>
- Agustiady, T. K., & Cudney, E. A. (2018). Total productive maintenance. *Total Quality Management & Business Excellence*, 1–8. <https://doi.org/10.1080/14783363.2018.1438843>
- Ali Naqvi, S. A., Fahad, M., Atir, M., Zubair, M., & Shehzad, M. M. (2016). Productivity improvement of a manufacturing facility using systematic layout planning. *Cogent Engineering*, 3(1), 1207296. <https://doi.org/10.1080/23311916.2016.1207296>
- Amrani, A., Zouggar, S., Zolghadri, M., & Girard, P. (2010a). Supporting framework to improve Engineer-To-Order product lead-times. *IFAC Proceedings Volumes*, 43(17), 102–107. <https://doi.org/10.3182/20100908-3-PT-3007.00022>
- Amrani, A., Zouggar, S., Zolghadri, M., & Girard, P. (2010b). Towards a collaborative approach to sustain engineer-to-order manufacturing. In *2010 IEEE International Technology Management Conference (ICE)* (pp. 1–8). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICE.2010.7477037>
- Antony, J., Snee, R., & Hoerl, R. (2017). Lean Six Sigma: yesterday, today and tomorrow. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 34(7), 1073–1093. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-03-2016-0035>
- Apple, J. M. (1977). *Plant layout and material handling*. Atlanta, Georgia: Wiley.
- Ariful, I., Rashed, C. A. A., & Hasan, J. (2017). Productivity Improvement Through the Application of Systematic Layout Planning. *Review of General Management*, 25(1), 38–54. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authtype=crawler&jrnl=1841818X&AN=123767622&h=BgYWYHXkBf4ZFNGymKyvRsvVlgXG9OUTUeSfo7Xp8PKhPVc0ahWozJPgAYqeP67sdcFybeJfzhC4mZl%2Fm8EfQ%3D%3D&crl=c>
- Azadeh, A., Nazari, T., & Charkhand, H. (2015). Optimisation of facility layout design problem with safety and environmental factors by stochastic DEA and simulation approach. *International Journal of Production Research*, 53(11), 3370–3389. <https://doi.org/10.1080/00207543.2014.986294>
- Black, J. T., & Hunter, S. L. (1998). *Lean manufacturing system and cell design. Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*. EUA: Society of Manufacturing Engineers.
- Bortolotti, T., Danese, P., & Romano, P. (2013). Assessing the impact of just-in-time on operational

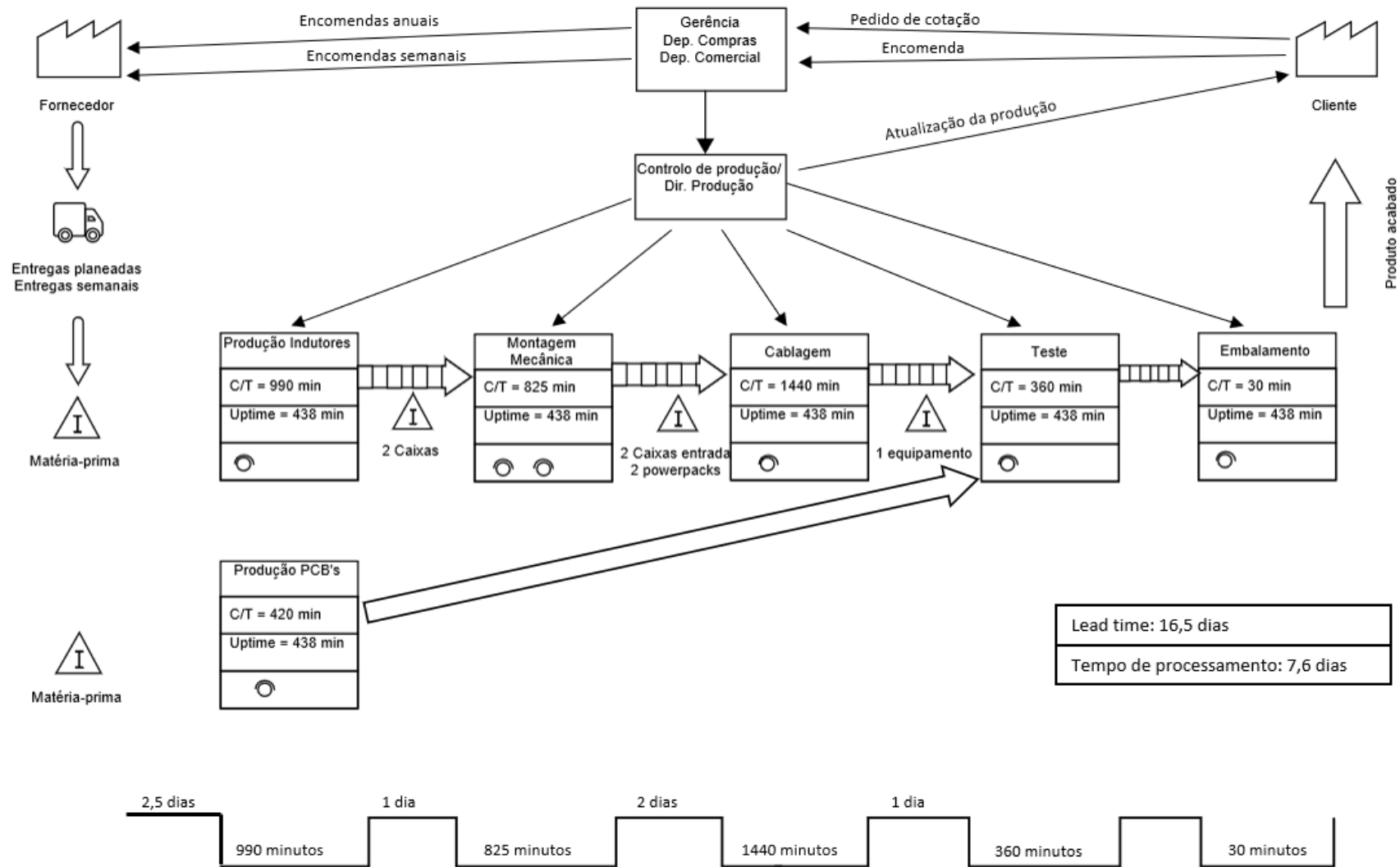
- performance at varying degrees of repetitiveness. *International Journal of Production Research*. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.678403>
- Bragança, S., & Costa, E. (2015). An application of the lean production tool standard work. *Jurnal Teknologi*, 76(1), 47–53. <https://doi.org/10.11113/jt.v76.3659>
- Chan, F. T. S., & Chan, H. K. (2005). Design of a PCB plant with expert system and simulation approach. *Expert Systems with Applications*, 28(3), 409–423. <https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2004.12.002>
- Cheng, J.-L. (2017). Improving Inventory Performance Through Lean Six Sigma Approaches. *IUP Journal of Operations Management*, 16(3).
- Chiarini, A., Baccarani, C., & Mascherpa, V. (2018). Lean production, Toyota Production System and Kaizen philosophy: A conceptual analysis from the perspective of Zen Buddhism. *TQM Journal*, 30(4), 425–438. <https://doi.org/10.1108/TQM-12-2017-0178>
- Dadashnejad, A. A., & Valmohammadi, C. (2018). Investigating the effect of value stream mapping on operational losses: a case study. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 16(3), 478–500. <https://doi.org/10.1108/JEDT-11-2017-0123>
- Divya Agarwal, Ajay Singholi, & Pushpendra S. Bharti. (2017). Study of Facility Layout Planning Algorithms and Approaches. *Global Journal of Enterprise Information System*, 9(4), 81–95. <https://doi.org/DOI: 10.18311/gjeis/2017/16056>
- El-Rayah, T. E., & Hollier, R. H. (1970). A review of plant design techniques. *International Journal of Production Research*, 8(3), 263–279. <https://doi.org/10.1080/00207547008929845>
- Gupta, S., & Jain, S. K. (2015). An application of 5S concept to organize the workplace at a scientific instruments manufacturing company. *International Journal of Lean Six Sigma*, 6(1), 73–88. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-08-2013-0047>
- Gurumurthy, A., & Kodali, R. (2011). Design of lean manufacturing systems using value stream mapping with simulation A case study. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 22(4), 444–473. <https://doi.org/10.1108/17410381111126409>
- Jaca, C., Viles, E., Paipa-Galeano, L., Santos, J., & Mateo, R. (2014). Learning 5S principles from Japanese best practitioners: Case studies of five manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 52(15), 4574–4586. <https://doi.org/10.1080/00207543.2013.878481>
- Jasti, N. V. K., & Sharma, A. (2015). Lean manufacturing implementation using value stream mapping as a tool a case study from auto components industry. *International Journal of Lean Six Sigma*, 5(1), 89–116. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-04-2012-0002>

- Jones, D. T., & Womack, J. P. (2003). *Lean thinking : banish waste and create wealth in your corporation*. New York: Free Press.
- Lacerda, A. P., Xambre, A. R., & Alvelos, H. M. (2016). Applying Value Stream Mapping to eliminate waste: a case study of an original equipment manufacturer for the automotive industry. *International Journal of Production Research*, 54(6), 1708–1720. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1055349>
- Lean Enterprise Institute., Marchwinski, C., Shook, J., & Lean Enterprise Institute. (2003). *Lean lexicon : a graphical glossary for lean thinkers*. Lean Enterprise Institute. Retrieved from <https://www.lean.org/Bookstore/ProductDetails.cfm?SelectedProductId=380>
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota way: 14 management principles from the world's greatest manufacturer*. Action Learning Research and Practice.
- Míkva, M., Prajová, V., Yakimovich, B., Korshunov, A., & Tyurin, I. (2016). Standardization-one of the tools of continuous improvement. *Procedia Engineering*, 149, 329–332. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.674>
- Ning, X., & Li, P. (2018). A cross-entropy approach to the single row facility layout problem. *International Journal of Production Research*, 56(11), 3781–3794. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1399221>
- Ohno, T. (1978). *Toyota Production System- Beyond Large-Scale Production*. Productivity Press. Portland, Oregon.
- Ojaghi, Y., Khademi, A., Yusof, N. M., Renani, N. G., & Hassan, S. A. H. bin S. (2015). Production layout optimization for small and medium scale food industry. In *Procedia CIRP* (Vol. 26, pp. 247–251). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.07.050>
- Oliveira, J., Sá, J. C., & Fernandes, A. (2017). Continuous improvement through “Lean Tools”: An application in a mechanical company. *Procedia Manufacturing*, 13, 1082–1089. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.139>
- Özdağoğlu, A. (2016). Lean Production and Some Lean Production Techniques: Application of Kaizen and Cycle Time Reduction in a Semi-Flexible Pvc Film Producer. *International Journal of Management Economics and Business*, 12(28), 0–0. <https://doi.org/10.17130/ijmeh.20162819844>
- Pepper, M. P. J., & Spedding, T. A. (2010). The evolution of lean Six Sigma. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 27(2), 138–155. <https://doi.org/10.1108/02656711011014276>
- Philips, E. J. (1997). *Manufacturing Plant Layout: Fundamentals and fine points of optimum facility*

- design*. Dearborn, Michigan: Society of Manufacturing Engineers.
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2010). *The Six Sigma handbook*. Mc Graw Hill.
<https://doi.org/10.1036/0071415963>
- Randhawa, J. S., & Ahuja, I. S. (2018). An investigation into manufacturing performance achievements accrued by Indian manufacturing organization through strategic 5S practices. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 67(4), 754–787.
<https://doi.org/10.1108/IJPPM-06-2017-0149>
- Shou, W., Wang, J., Wu, P., Wang, X., & Chong, H. Y. (2017). A cross-sector review on the use of value stream mapping. *International Journal of Production Research*.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1311031>
- Suhardi, B., Anisa, N., & Laksono, P. W. (2019). Minimizing waste using lean manufacturing and ECRS principle in Indonesian furniture industry. *Cogent Engineering*, 6(1), 1–13.
<https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1567019>
- Sunder, V. M. (2013). Synergies of Lean Six Sigma. *IUP Journal of Operations Management*, 12, 21–31. Retrieved from
https://www.researchgate.net/profile/Vijaya_Sunder_M/publication/256060299_Synergies_of_Lean_Six_Sigma/links/55ae3f1c08aed9b7dcdcd67b.pdf
- Tortorella, G. L., & Fogliatto, F. S. (2008). Planejamento sistemático de layout com apoio de análise de decisão multicritério. *Production*, 18(3), 609–624. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132008000300015>
- Velarde, G. J., Saloni, D. E., Dyk, H. Van, & Giunta, M. (2009). Process flow improvement proposal using lean manufacturing philosophy and simulation techniques on a modular home manufacturer. *Lean Construction Journal*, 77–93.
- Yang, L.-R. (2013). Key practices, manufacturing capability and attainment of manufacturing goals: The perspective of project/engineer-to-order manufacturing. *International Journal of Project Management*, 31(1), 109–125. <https://doi.org/10.1016/J.IJPROMAN.2012.03.005>
- Zhou, J., Zhang, Q., Wang, X., & Xiao, H. (2016). Lean system design for engineer-to-order manufacturing. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, 21(6), 702–712.
<https://doi.org/10.1007/s12204-016-1784-2>

ANEXOS

Anexo A – VSM do estado inicial da empresa





Metodologia 5S



1. Organização

Eliminar items desnecessários.

2. Arrumação

Cada coisa no seu lugar.

3. Limpeza

Limpar e evitar sujar.

4. Standardização

Criar métodos para as tarefas e procedimentos.

5. Disciplina

Manter hábitos de procedimentos corretos.

Anexo C – Instruções de trabalho

	INSTRUÇÃO DE TRABALHO FABRICO DE INDUTORES	Pág. 1 de 11 Data: 30-10-2018 Revisão:11
---	--	--

1. Objetivo

Definir os processos para a correta execução do fabrico de indutores.

2. Campo de aplicação

Fabrico de indutores.

3. Definições/Abreviaturas

MO – *Manufacturing Order*

ELB – Eletricista Bobinador

DP – Diretor da Produção e Manutenção

4. Equipamentos

- Máquina de bobinagem;
- Grampos;
- Pistola de ar quente;
- Mega-ohmímetro;
- *Automatic Passive Component Analyser*;
- Fita métrica;
- Forno;
- Envernizadora;
- Máquina de descarnar Cobre;
- Maço;
- Alicates de cravar;
- Máquina de cravar.

NOTA: Para utilizar os equipamentos o colaborador deverá verificar se os mesmos têm a manutenção periódica feita.

4.1 Verificação de fita métrica

Sempre que for necessário utilizar uma fita métrica, deve ser executada uma verificação inicial da mesma. A fita métrica não estará conforme para utilização se:

- a marcação estiver rasurada ou apagada dificultando a leitura;
- alguma peça esteja danificada ou partida dificultando a leitura.

5. EPI's

- Botas de proteção mecânica;
- Óculos de proteção;
- Proteções auditivas;
- Luvas de proteção mecânica;
- Máscara M3 6000 + filtros M3 2128 P2

6. Desenvolvimento e Responsabilidades






Fluxograma	Resp.	Docs.	Ação				
<pre>graph TD A[Receção da MO] --> B[Selecionar material] B --> C[Colagem e isolamento de núcleos] C --> D[Preparar bobinagem e bobinar] D --> E[Montagem de estrutura e cravação de terminais] E --> F{Inspeção visual} F --> G[Envernizamento] G --> H[Limpeza e labelling] H --> I{Testes} I --> J[Registrar e separar] I --> K[Pronto a utilizar]</pre>	ELB	MO	Recebe a MO do diretor da produção.				
	ELB	PRD.014	Selecionar o material, de acordo com a PRD.014.				
	ELB	PRD.014	Preparação/colagem de núcleos e isolamento destes.				
	ELB	PRD.014	Preparar bobinagem e bobinar conforme indicado na PRD.014.				
	ELB	PRD.014	Montagem de estrutura de suporte (se necessário) e cravação de terminais.				
	ELB	PRD.014	Inspeção visual.				
	ELB	PRD.012	Envernizamento.				
	ELB	PRD.012	Colocação dos indutores no forno para secagem.				
	ELB	PRD.014	Limpeza e <i>labelling</i> .				
	ELB	PRD.014	Realizar Teste:				
			<table><tr><td>Controlo</td><td>Tipo de Controlo</td></tr><tr><td>Resistência à Terra</td><td>Mega-ohmímetro</td></tr><tr><td>Indutância</td><td><i>Automatic Passive Component Analyser</i></td></tr></table>	Controlo	Tipo de Controlo	Resistência à Terra	Mega-ohmímetro
Controlo	Tipo de Controlo						
Resistência à Terra	Mega-ohmímetro						
Indutância	<i>Automatic Passive Component Analyser</i>						
		No caso de existirem defeitos registá-los no documento PRD.029 - Ficha de produção e qualidade e separar o indutor colocando-o(s) no local definido para peças não conformes - o indutor deve ser marcado como não conforme.					




7. Descrição resumida das tarefas



7.1 Indutores com folha de cobre

Tarefa	Resp.	Descrição
Preparar Máquina de bobinagem	ELB	<p>A máquina de bobinagem é composta por um conjunto de roldanas.</p> <p>Nas roldanas serão colocados os rolos de cobre necessários com a espessura adequada (ver PRD.014) e o rolo de papel isolante.</p> <p>A colocação dos rolos de cobre e papel deve ser efetuada da seguinte forma:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Desapertar roldana com chave sextavada; 2. Retirar roldana; 3. Desaparafusar anilha de suporte do rolo de cobre e papel com o devido cuidado para não provocar cortes; 4. Recolocar roldana na máquina de bobinagem e apertar com chave sextavada; 5. Passar chapa de cobre e papel pela prensa isolante e pelos rolos com o devido cuidado para não provocar cortes.



Tarefa	Resp.	Descrição	
Colagem de núcleos	ELB	<p>Colar o número de núcleos de acordo com a PRD.014.</p> <p>A colagem dos núcleos deve ser feita com recurso a cola e ativador (spray).</p> <p>Este passo apenas é efetuado se forem usados mais que um núcleo (ver PRD.014).</p>	
Isolamento dos núcleos	ELB	<p>Efetuar o isolamento do(s) núcleo(s), com uma primeira camada de fita-cola (35mm) e de seguida colocar os topos de cartão. Terminando com outra camada de fita-cola.</p>	
Soldadura ou corte na folha de cobre	ELB	<p>Ver PRD.014:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Efetuar soldadura do cabo na folha de cobre, ou, 2. Cortar folha de cobre a meio, de forma a criar terminais em cobre. 	 
Preparação da bobinagem	ELB	<p>Com a máquina de bobinagem pronta para executar a bobinagem dos indutores, colocam-se os núcleos na prensa com o devido cuidado para não entalar os dedos.</p>	

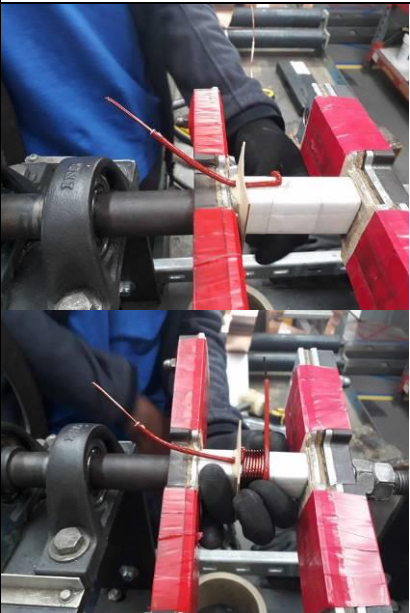

Bobinagem	ELB	<p>Com os núcleos corretamente colocados na máquina de bobinagem, puxa-se o papel isolante enrolando o mesmo à volta dos núcleos (uma volta e meia).</p> <p>Em seguida, efetua-se a mesma operação com a folha de cobre, com o número de voltas indicado na PRD.014.</p> <p>O processo de enrolar as folhas de cobre e papel deve ser efetuado tendo sempre cuidado para não entalar ou cortar os dedos no papel ou folha de cobre.</p> <p>As bobines são isoladas com fita-cola de 25mm.</p> <p>No final repete-se o passo de “Soldadura ou corte na folha de cobre”.</p>	
Montagem de estrutura e cravação de terminais	ELB	<p>Consoante a PRD.014, procede-se à colagem das bobines de forma a obter-se o indutor e se necessário, fazer a montagem da estrutura de suporte.</p> <p>Cravar os terminais.</p>	
Inspeção visual	ELB	<p>Após inspeção visual e estando o indutor em conformidade, segue para a fase de envernizamento.</p>	
Envernizar	ELB	<p>Ver documento PRD.IT.12.</p>	

Forno	ELB	Colocam-se os indutores no forno a uma temperatura aproximada de 150° C durante 3 horas ou até o verniz secar.	
Limpeza	ELB	Retirar o excesso de verniz da armação dos indutores.	
Teste	ELB	<p>Os indutores devem ser etiquetados com o número de série, tipo de indutor e número de indutor; segundo a PRD.014, antes de iniciar o teste.</p> <p>O teste realiza-se avaliando a indutância (<i>Automatic Passive Component Analyser</i>) e a resistência à terra (Mega-ohmímetro).</p>	

7.2 Indutores com fio de cobre

Tarefa	Resp.	Descrição
Preparar Máquina de bobinagem	ELB	<p>A máquina de bobinagem é composta por um conjunto de roldanas.</p> <p>Nas roldanas serão colocados o rolo de papel isolante e a bobine com fio de cobre.</p> <p>A colocação da bobine de fio e do rolo de papel deve ser efetuada da seguinte forma:</p> <ol style="list-style-type: none"> 6. Desapertar roldana com chave sextavada; 7. Retirar roldana; 8. Desaparafusar anilha de suporte do rolo de papel com o devido cuidado para não provocar cortes; 9. Colocar bobine de fio na roldana; 10. Recolocar roldana na máquina de bobinagem e apertar com chave sextavada; 11. Passar o papel pela prensa isolante e pelos rolos com o devido cuidado para não provocar cortes, e o fio de cobre
Isolamento dos núcleos	ELB	<p>Efetuar o isolamento do núcleo, com uma primeira camada de fita-cola (35mm), de seguida colocam-se os topos de cartão com papel isolante e novamente fita-cola.</p>



Preparação da bobinagem	ELB	Com a máquina de bobinagem pronta para executar a bobinagem dos indutores, coloca-se o núcleo na prensa com o devido cuidado para não entalar os dedos.	
Bobinagem	ELB	<p>Com os núcleos corretamente colocados na máquina de bobinagem, recolhe-se o fio de cobre, coloca-se manga isoladora no fio no local onde começa a bobinagem, inicia-se a bobinagem de um dos lados do núcleo, até preencher de forma uniforme todo o comprimento do núcleo. Em caso de haver necessidade de mais camadas, deve-se isolar novamente a camada anterior com papel isolante e fita-cola, e continuar a bobinagem até atingir o número de voltas pretendido.</p> <p>O processo de bobinagem, deve ser efetuado tomando sempre cuidado para não entalar os dedos ou cortar as mãos no papel ou fio de cobre.</p> <p>No final da bobinagem, isolar com uma camada de fita-cola (19mm).</p>	
Montagem de estrutura e cravação de terminais	ELB	<p>Consoante a PRD.014, procede-se à junção das bobinas e/ou núcleos com a montagem da estrutura de suporte, se necessário.</p> <p>Cravar os terminais.</p>	
Inspeção visual	ELB	Após inspeção visual e estando o indutor em conformidade segue para a fase seguinte.	


Envernizar	ELB	Ver documento PRD.IT.12	
Forno	ELB	Colocam-se os indutores no forno a uma temperatura aproximada de 150°C durante 3 horas ou até o verniz secar.	
Limpeza	ELB	Retirar o excesso de verniz da armação dos indutores.	
Teste	ELB	<p>Os indutores devem ser etiquetados com o número de série, tipo de indutor e número de indutor; segundo a PRD.014, antes de iniciar o teste.</p> <p>O teste realiza-se avaliando a indutância (<i>Automatic Passive Component Analyser</i>) e a resistência à terra (Mega-ohmímetro).</p>	

8. Registo e histórico do documento

Data	Revisão	Descrição	Autor
05-11-2012	00	Edição Inicial	
27-01-2013	01	Alteração no ponto 7. Inspeção e auto controlo. Alterado os indicadores de controlo dando resposta à NC nº1. Alteração no ponto 8.8 Descrição resumida de Tarefas – Indutores com fio de cobre. Retirou-se a dimensão dos retângulos de papel.	
26-03-2013	02	Alteração no Fluxograma introduzindo os vários passos e respetivas descrições na elaboração do indutor.	
13-11-2013	03	Introduzir verificação da fita métrica. Introduzir processo de envernizamento, forno e teste de indutores.	
17-12-2013	04	Alterações no ponto 7. Acrescentando ao fluxograma passos em falta. Alterações no ponto 8 Descrição resumida de Tarefas com introdução de fotos, revisão de texto e correções ortográficas.	
09-01-2014	05	Introdução do intervalo de medição para aceitação dos indutores (indutância e resistência à terra).	
10-03-2014	06	Retiram-se os valores de verificação dos indutores, passando estes a estarem presentes apenas na Ficha de Inspeção e Verificação (PRD.005).	
16-09-2016	07	Alteração no ponto 3 Definições/Abreviaturas: Aprendiz de eletricista, Diretor da Qualidade, Diretor Comercial e Marketing e Administrativa Financeira retirados da lista. Eletricista Bobinador incluído.	
04-10-2016	08	Remoção dos pontos 5 - Riscos e 6 – Medidas Preventivas (regras de segurança). Remoção da tarefa Preparação dos topos de cartão.	
11-11-2016	09	Atualização de fotografias e correção de algumas incorreções.	
22-02-2017	10	Alteração da sequência de trabalho.	T. Carmo
30-10-2018	11	Alterações na sequência de trabalho. Alterações nos Equipamentos e EPI's. Alterações nas tarefas. Atualização fotográfica.	I. Vieira

Elaborado por: Inês Vieira

Aprovado por: Vitor Alves

	INSTRUÇÃO DE TRABALHO Assemblagem de Filtros RFI	Pág. 1 de 5 Data: 21-11-2018 Revisão:07
---	--	---

1. Objetivo

Definir o processo para a correta execução do fabrico de filtros RFI.

2. Campo de aplicação

Fabrico de filtros RFI.

3. Definições/Abreviaturas

MO – *Manufacturing Order*

EL - Eletricista

DQ – Diretor da Qualidade

DP – Diretor de Produção e Manutenção

NC- Não conforme

QC – *Quality Control*

4. Equipamentos

- Alicate de cravar uniões;
- Fita métrica;
- Alicate de corte;
- Resistência de descarga;
- Mega ohmímetro;
- Multímetro.

NOTA: Para utilizar os equipamentos o colaborador deverá verificar se os mesmos têm a manutenção periódica feita.

4.1. Verificação da fita métrica

Sempre que for necessário utilizar uma fita métrica deve ser executada uma verificação inicial da mesma. A fita métrica não estará conforme para utilização se:

- A marcação estiver rasurada ou apagada dificultando a leitura.
- Alguma peça esteja danificada ou partida dificultando a leitura.

Caso estas duas não conformidades se verifiquem deverá utilizar-se outra fita conforme.



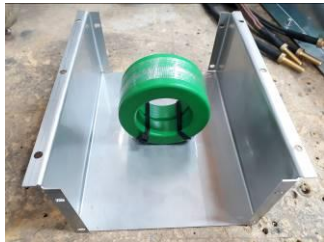
5. EPI's




- Luvas e Botas de proteção mecânica;

6. Desenvolvimento e Responsabilidades

Fluxograma	Resp.	Docs.	Ação									
<pre>graph TD; A[Manufacturing Order] --> B[Verificação de documentação e de matéria prima]; B --> C[Filter Wiring]; C --> D[Filter Assembly]; D --> E{QC}; E -- OK --> F[Labelling]; E -- NOK --> D;</pre>	DP	MO	Recebe MO.									
	EL	BOM	Selecionar material, de acordo com o filtro a fabricar.									
	EL	PRD.IT	Assemblagem de todos os componentes.									
	EL	PRD.IT	Realizar Teste/Inspeção de autocontrolo de acordo com a seguinte tabela: <table><tr><th>Controlo</th><th>Tipo de Controlo</th><th>Frequência</th></tr><tr><td>Continuidade</td><td>Multímetro</td><td>Todos</td></tr><tr><td>Resistência à terra</td><td>Megaohmi metro</td><td>Todos</td></tr></table> <p>Caso o filtro esteja NC, efetuar a desmontagem do filtro para deteção e correção da não conformidade.</p>	Controlo	Tipo de Controlo	Frequência	Continuidade	Multímetro	Todos	Resistência à terra	Megaohmi metro	Todos
	Controlo	Tipo de Controlo	Frequência									
Continuidade	Multímetro	Todos										
Resistência à terra	Megaohmi metro	Todos										
EL	PRD.IT	Etiquetar, assinar e datar.										

7.Descrição resumida das Tarefas

Tarefa	Resp.	Descrição	
Selecionar material	EL	<p>Selecionar material, consultando a tabela de fabrico de filtros.</p> <ul style="list-style-type: none"> • PCB's Assemblados; • Caixa; • Ferrites; • Fio; • Bornes; • Uniões. 	
Em caso de SPARE	EL	É necessário confirmar a furação de suporte do filtro, pois a furação da caixa C é diferente da furação da caixa B. (Ver ordem de produção)	
Cabelagem	EL	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cortar o número de fios com o comprimento e diâmetro descritos na Tabela de Filtros; 2. Cravar bornes aos fios correspondentes a cada uma das fases; 3. Verificar cravações; 4. Colocar manga retrátil. 	
Fixação da(s) ferrite(s) à caixa	EL	<ol style="list-style-type: none"> 1. Colar as ferrites com ajuda de fita-cola (fita-cola de alta temperatura), caso seja mais do que uma ferrite (ver tabela de filtros); 2. Fazer furações na caixa de acordo com o desenho técnico; 3. Colocar os apoios para as abraçadeiras que fixam as ferrites. 	


Assemblagem de todos os componentes	EL	<div><div><div>1. Aparafusar bornes às PCB's, tendo atenção à sequência dos fios, de forma a L1 corresponder a L1, e assim sucessivamente – utilizar anilha recartilhada e porca sxt. Em latão;</div><div>2. Rebitar as PCB's à caixa, tendo atenção à orientação das PCB's, as fases deverão estar orientadas para a parte exterior da caixa;</div><div>3. Caso necessário colocar parafuso de suporte da ferrite;</div></div><div></div></div>										
Teste / Inspeção auto controlo	EL	<div><div><div>1. Realizar teste de continuidade, com Multímetro, em todas as fases e neutro;</div><div>2. Realizar teste de isolamento, com Mega ohmímetro, entre caixa e o borne de neutro.</div></div><div>NOTA: Descarregar entre o teste de cada fase com a resistência de descarga.</div><div></div></div>										
Labelling	EL	<div><div>Etiquetar, assinar e datar.</div><div><table><tr><td>RFI Filter:</td><td>“Amperagem máxima do filtro”</td></tr><tr><td>S.N.:</td><td>“Nº de série da máquina a que se destina”</td></tr><tr><td>Tested:</td><td>“OK”</td></tr><tr><td>By:</td><td>“Iniciais nome”</td></tr><tr><td>Date:</td><td>“Data”</td></tr></table></div></div>	RFI Filter:	“Amperagem máxima do filtro”	S.N.:	“Nº de série da máquina a que se destina”	Tested:	“OK”	By:	“Iniciais nome”	Date:	“Data”
RFI Filter:	“Amperagem máxima do filtro”											
S.N.:	“Nº de série da máquina a que se destina”											
Tested:	“OK”											
By:	“Iniciais nome”											
Date:	“Data”											

8.Registo e histórico do Documento

Data	Revisão	Descrição	Autor			
14-01-2014	00	Edição inicial				
03-09-2014	01	Adicionada nota em caso de o filtro ser SPARE.				
19-09-2016	02	Revisão do documento. Alteração no ponto 3: Aprendiz de eletricista retirado. Manutenção-Produção passa a fazer parte do cargo de Diretor de Produção.				
04-10-2016	03	Remoção do ponto 5 – Riscos e 6 – Medidas preventivas.				
09-02-2018	04	<div>Remoção do equipamento LCR</div> <div>Remoção de:</div> <table><tr><td>Indutância</td><td>LCR</td><td>Todos</td></tr></table> <div>Remoção do ponto 5- Bobinar toroides do 7. Descrição resumida das Tarefas</div> <div>“5- Medir indutância de todos os fios e comparar com a indutância esperada para o tipo de filtro (+/- 10%);”</div> <div>Remoção do ponto 2- de Teste / Inspeção autocontrolo do 7. Descrição resumida das Tarefas</div> <div>“2- Medir indutância, com o LCR, em todas as fases e neutro (Este valor deverá ser no mínimo -10% do valor esperado na tabela);”</div>	Indutância	LCR	Todos	
Indutância	LCR	Todos				
27-03-2018	05	Adicionar Alicates de Cravar. Alterar Fluxograma. Retirar montagem de PCB's. Alteração da descrição de tarefas.				
25-10-2018	06	Adicionar definições/abreviaturas e equipamentos. Alteração de “Bobinar toroides” para “Cabelagem”. Adicionar tarefa “Fixação da(s) ferrite(s) à caixa. Alterações na descrição de tarefas.	I. Vieira			
22-11-2018	07	Adição da tabela de filtros.	I. Vieira			

Elaborado por: Inês Vieira

Aprovado por: Vitor Alves

	<p align="center">INSTRUÇÃO DE TRABALHO Assemblagem Mecânica</p>	<p align="right">Pág. 1 de 6 Data: 08-11-2018 Revisão:00</p>
---	--	---

1. Objetivo

Definir os processos para a correta execução da assemblagem mecânica nas caixas de máquinas de eletrônica de potência.

2. Campo de aplicação

Fabrico de máquinas de eletrônica de potência.

3. Definições/Abreviaturas

MO – *Manufacturing Order*

EL – Eletricista

DP – Diretor da Produção e Manutenção

DT – Desenho técnico

4. Equipamentos

- Pistola de ar comprimido;
- Rebarbadora;
- Aparafusadora elétrica;
- Fita métrica;
- Ferramentas de uso manual.

NOTA: Para utilizar os equipamentos o colaborador deverá verificar se os mesmos têm a manutenção periódica feita.

4.1 Verificação de fita métrica

Sempre que for necessário utilizar uma fita métrica, deve ser executada uma verificação inicial da mesma. A fita métrica não estará conforme para utilização se:

a marcação estiver rasurada ou apagada dificultando a leitura;

alguma peça esteja danificada ou partida dificultando a leitura.

5. EPI's

Botas de proteção mecânica;

- Óculos de proteção;
- Proteções auditivas;
- Luvas de proteção mecânica;
- Máscara M3 6000 + filtros M3 2128 P2 R.

6. Desenvolvimento e Responsabilidades

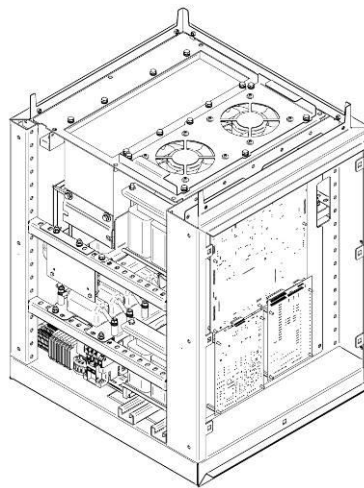
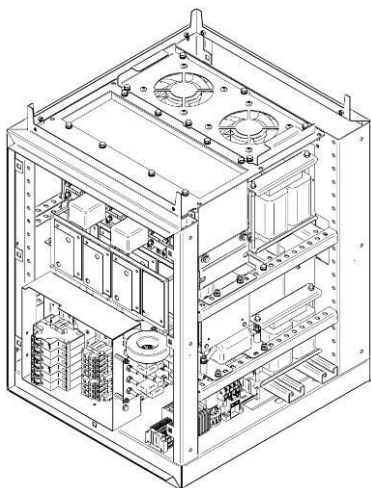
Fluxograma	Resp.	Docs.	Ação
Receção da MO	EL	MO	Recebe a MO do DP.
Verificação da documentação	EL	BOM DT	Verifica documentação.
Verificação da caixa	EL	BOM DT	Verifica estado da caixa.
Preparação da caixa	EL	BOM DT	Prepara caixa para receber componentes.
Instalação do transformador	EL	BOM DT	Instala transformador.
Assemblagem do "powerpack"	EL	PRD.IT.004	Assembla "powerpack".
Preparação de painel	EL	BOM DT	Prepara painel de eletrónica.
Instalação de componentes	EL	BOM DT	Instala indutores, condensadores e restantes componentes.
Instalação do "powerpack"	EL	BOM DT	Instala "powerpack".
Inspeção visual	EL	BOM DT	Faz inspeção Visual (cross-check).
Limpeza	EL		Limpa máquina.

7. Descrição resumida das tarefas

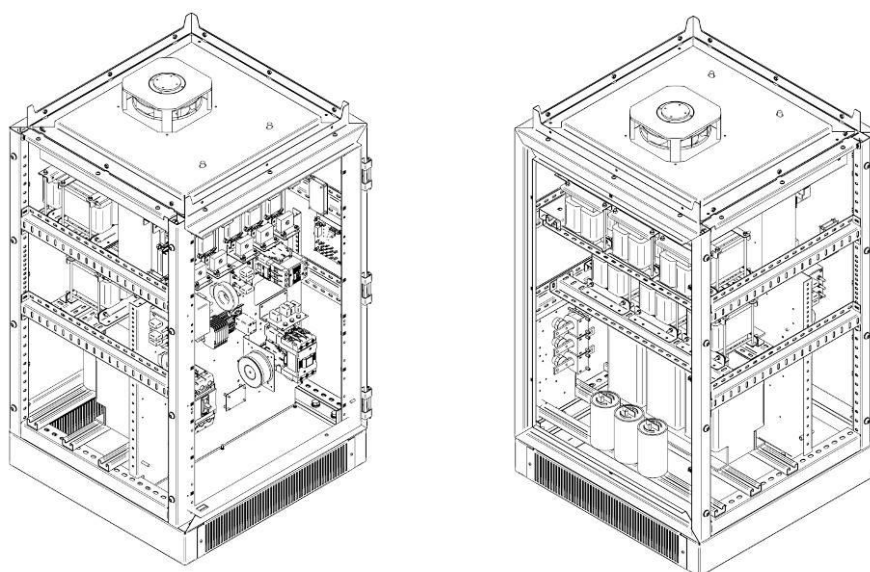
Caixas T450, T500, T650 e T700

NOTA: Todos os parafusos usados deverão estar de acordo com o DT.

1. Verificar documentação (DT e BOM);
2. Verificar estado da caixa (se tem riscos ou outro tipo de inconformidades);
3. Preparar palete para colocar a caixa e aparafusar a caixa à palete (verificar a necessidade de anti-vibrático);
4. Preparar a caixa para receber os componentes - colocar calhas (mecânica – corte de *unistruct*) e verificar DT;
5. Instalar transformador;
6. Assemblar “*powerpack*”, segundo a PRD.IT.004;
7. Preparar painel de eletrónica;
8. Se a caixa for T450 ou T500:
 - Instalar filtro de baixo;
 - Assemblar caixa de entrada;
 - Embalar painel de eletrónica (para levar para a Cablagem);



9. Se a caixa for T650 ou T700:
 - Instalar painel central;
 - Preparar topos com filtros (se a caixa for horizontal);



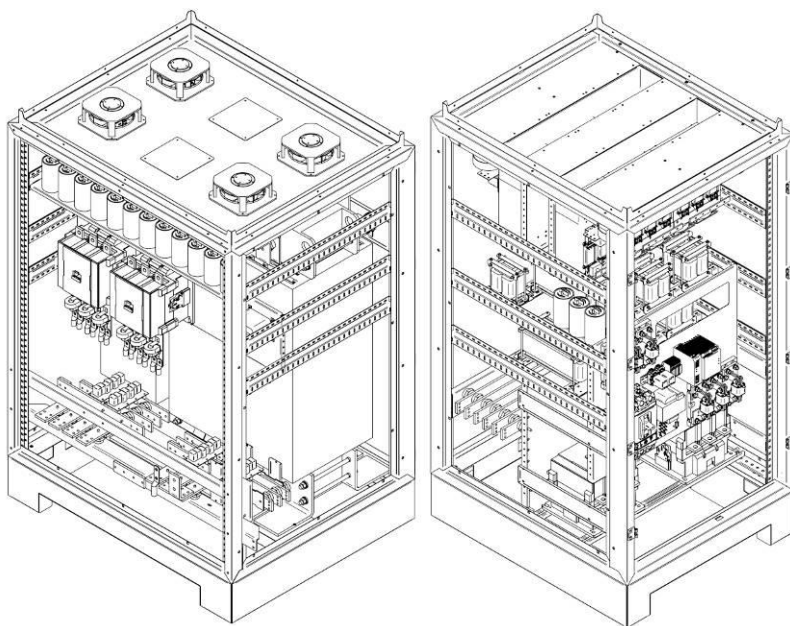
10. Instalar indutores, condensadores e restantes componentes (ver DT e BOM);
11. Se a caixa for T650 ou T700: instalar painel de eletrónica;
12. Instalar “*powerpack*”;
13. Fazer inspeção visual (*cross-check*);
14. Limpar a máquina.

Caixas MOD

NOTA: Todos os parafusos usados deverão estar de acordo com o DT.

1. Verificar documentação (DT e BOM);
2. Verificar estado das caixas (se têm riscos ou outro tipo de inconformidades);
3. Preparar módulos para receber os componentes - colocar calhas (mecânica – corte de *unistruct*) e verificar DT;
4. Instalar transformador no respetivo módulo;
5. Assemblar “*powerpacks*”, segundo a PRD.IT.004;
6. Preparar painéis de eletrónica;
7. Instalar painéis centrais nos módulos *slave* e *master*;

r

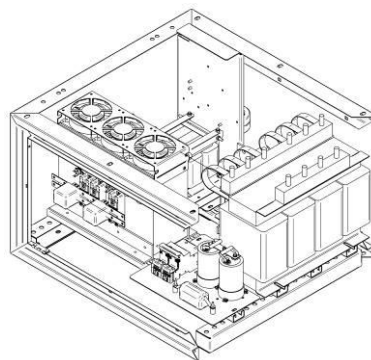
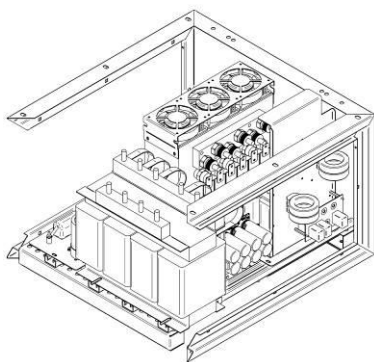


8. Instalar indutores e condensadores nos módulos *slave* e *master*;
9. Instalar restantes componentes (ver BOM e DT);
10. Instalar painéis de eletrónica;
11. Instalar “*powerpacks*” nos módulos *slave* e *master*;
12. Fazer inspeção visual (*cross-check*);
13. Limpar módulos.

Caixas VDC COMBI

NOTA: Todos os parafusos usados deverão estar de acordo com o DT.

1. Verificar documentação (DT e BOM);
2. Verificar estado da caixa (se tem riscos ou outro tipo de inconformidades);
3. Preparar palete para colocar a caixa;
4. Preparar a caixa para receber os componentes - colocar calhas e chapas (mecânica – corte de *unistruct*) e verificar DT;
5. Instalar transformador;
6. Assemblar “*powerpack*”, segundo a PRD.IT.004;
7. Preparar painel de eletrónica;
8. Preparar topos com filtros (se a caixa for horizontal);




9. Instalar indutores, condensadores e restantes componentes (ver DT e BOM);
10. Instalar painel de eletrónica;
11. Instalar “powerpack”;
12. Colocar rede por baixo da caixa;
13. Aparafusar à caixa-base (se vertical);
14. Fazer inspeção visual (*cross-check*);
15. Limpar a máquina.

8. Registo e histórico do documento

Data	Revisão	Descrição	Autor
08-11-2018	00	Edição Inicial	I. Vieira

Elaborado por: Inês Vieira

Aprovado por: Vitor Alves

	<p align="center">INSTRUÇÃO DE TRABALHO Cablagem</p>	<p align="right">Pág. 1 de 8 Data: 14-11-2018 Revisão:00</p>
---	--	---

1. Objetivo

Definir os processos para a execução da cablagem de uma máquina.

2. Campo de aplicação

Fabrico de máquinas de eletrônica de potência GPU's, SFC's e carregadores DC.

3. Definições/Abreviaturas

MO – *Manufacturing Order*

EL – Eletricista

DP – Diretor da Produção e Manutenção

DT – Desenho técnico

4. Equipamentos

- Máquina de cravar Cembre B35-45MD;
- Alicates de cravar;
- Multímetro;
- Berbequim pneumático;
- Pistola de ar quente;
- Alicate de descarnar e cortar;
- Ferramentas de uso manual.

NOTA: Para utilizar os equipamentos o colaborador deverá verificar se os mesmos têm a manutenção periódica feita.

5. EPI's

- Botas de proteção mecânica;
- Proteções auditivas.

6. Desenvolvimento e Responsabilidades

Fluxograma	Resp.	Docs.	Ação
Receção da MO	EL	MO	Recebe a MO do DP.
Verificação da documentação	EL	BOM; DT; PRD.029; PRD.048; <i>wiring diagram</i>	Verifica documentação.
Verificação da montagem mecânica	EL	BOM DT	Verifica montagem mecânica.
Cablagem do painel central/ caixa de entrada	EL	PRD.048 <i>wiring diagram</i> PRD.029	Cablagem do painel central/ caixa de entrada.
Cablagem do "powerpack"	EL	PRD.048 <i>wiring diagram</i>	Cablagem do "powerpack".
Cablagem de potência	EL	PRD.048 <i>wiring diagram</i> PRD.029	Cablagem de potência.
Cablagem de sinal	EL	PRD.048 <i>wiring diagram</i> PRD.029	Cablagem de sinal.
Limpeza	EL	PRD.048 <i>wiring diagram</i> PRD.029	Limpa a máquina.
Verificação da cablagem de sinal	EL	PRD.048 <i>wiring diagram</i> PRD.029	Verifica cablagem (<i>cross-check</i>)

7. Informação Técnica

Tipos de cabo e sua utilização

- Cabo multifilar (MF) – é utilizado para fazer **cablagem de sinal**. Existe com malha (a malha é ligada obrigatoriamente apenas a uma das pontas à “terra”) e sem malha.
- Cabo CAN – é um cabo de comunicações, é usado para o **display**.
- Cabos H07RN-F e H01N2-D – utilizados para fazer a **cablagem de potência**.
- Cabo H07V-K – utilizado para fazer **cablagem de potência baixa**.
- Cabo H05V-K – utilizado para fazer **cablagem de sinal**.

NOTA: Os cabos estão identificados com, por exemplo, “3G1” ou “3X1”, o primeiro algarismo indica a quantidade de condutores (no exemplo 3 condutores), a letra entre os algarismos indica a presença (G) ou a ausência (X) de condutor terra (Verde/amarelo), o último algarismo indica a secção dos condutores (no exemplo 1mm²);

Controlos de qualidade

Cravações	Continuidade	Rastreabilidade	Cablagem correta
Verificação por puxão	Verificação com o multímetro	Identificação dos cabos	Verificação de cablagem (<i>cross-check</i>)

Tipos de terminais/ ponteiros/ *crimps* e alicates de cravar

Tipo	Informação	Alicate de cravar
Terminais de olhal não isolados	<p>Têm a informação do diâmetro do cabo a usar e do parafuso.</p> <p>Exemplo: GT50-10, secção do condutor 50mm², diâmetro do furo 10mm.</p> <p>NOTA: é necessário o seu isolamento com manga termo-retrátil.</p>	 <p>Máquina de cravar Cembre B35-45MD</p>
Terminais de olhal isolados	<p>Têm a informação do diâmetro do cabo a usar e do parafuso.</p> <p>A sua cor está relacionada com o diâmetro do cabo. (Vermelho: 0,5 a 1,5 mm²; azul: 1,5 a 2,5 mm²; amarelo: 4 a 6 mm²)</p>	 <p>CRIMPFOX-RC16</p>
Ponteiros não isolados		 <p><10 mm² - CRIMPFOX CENTRUS 10H >10 mm² - OPT LY-35WF</p>
Ponteiros isolados	<p>Até 1,5mm² de secção do condutor são utilizados (normalmente) para sinal, as secções superiores são utilizados para potência.</p>	 <p><10 mm² - CRIMPFOX CENTRUS</p> 

		10H >10 mm ² - OPT LY-35WF
Terminal SPADE INSULATED	<p>Têm a informação do diâmetro do cabo a usar e do parafuso.</p> <p>A sua cor está relacionada com o diâmetro do cabo. (Vermelho: 0,5 a 1,5 mm²; azul: 1,5 a 2,5 mm²; amarelo: 4 a 6 mm²)</p>	 <p>CRIMPFOX-RC16</p>
Conetor FASTON	<p>A sua cor está relacionada com o diâmetro do cabo. (Vermelho: 0,5 a 1,5 mm²; azul: 1,5 a 2,5 mm²; amarelo: 4 a 6 mm²)</p>	 <p>CRIMPFOX-RC16</p>
Fio de ligação à Terra do drive e CONNECTOR 1P- SMF	<p>Os <i>crimps</i> já estão cravados no cabo e o CONNECTOR 1P-SMF é colocado manualmente.</p>	 <p>Não aplicável.</p>
CRIMP QUICK DISC. TERM. e DUST CAP/COVER	<p>Os <i>crimps</i> são cravados e encaixados nas <i>dust caps</i>.</p>	 <p>OPT LY-03B</p>
CRIMP FOR VHR-3N e ficha VHR-3N	<p>Cada <i>crimp</i> é cravado com um alicate adequado e encaixa na respetiva ficha.</p>	 <p>JST WC-160</p>

<p>CRIMP SOCKET e ficha MC34 SERIES</p>	<p>Cada <i>crimp</i> é cravado com um alicate adequado e encaixa na respetiva ficha.</p>	 <p>Molex TOOL HAND CRIMPER 14-24AWG SIDE</p>
<p>CRIMP FOR SMR + ficha SMR-02V-N CRIMP FOR SMP + ficha SMP-02V-N</p>	<p>Cada <i>crimp</i> macho (CRIMP FOR SMR) é cravado com um alicate adequado e encaixa na respetiva ficha fêmea (SMR-02V-N) e vice-versa.</p>	 <p>Molex TOOL HAND CRIMPER 14- 24AWG SIDE</p>
<p>CRIMP CONTACT MALE + ficha MINIFIT 8VIAS CON CRIMP CONTACT FEMALE + ficha MINIFIT 8 VIAS RECEPTOR</p>	<p>Cada <i>crimp</i> macho (CRIMP CONTACT 5558 SERIES MALE) é cravado com um alicate adequado e encaixa na respetiva ficha fêmea (MINIFIT 8VIAS CON) e vice-versa.</p>	 <p>Molex 638190900H</p>

8. Descrição resumida das tarefas

1. Verificar documentação (BOM; DT; PRD.029; PRD.048 e *wiring diagram*);
2. Verificar assemblagem mecânica (documentação, pintura, fixação de componentes e limpeza da máquina);
3. Fazer cablagem da caixa de entrada/painel central (cablagem de sinal e potência);



4. Fazer cablagem de sinal do “*powerpack*”;



5. Fazer cablagem do transformador e indutores:
 - CAP OUT (cablagem de sinal e potência);
 - CT's e transformador (cablagem de sinal e potência);
 - INPUT INV – *powerpack* (cablagem de potência);
 - INPUT RCT – *powerpack* (cablagem de potência);
 - CAP INP (cablagem de sinal e potência).



6. Fazer cablagem de potência do *powerpack*;

7. Fazer eletrónica de sinal:

- Soft start;
- Eletrónica;
- *Display*;
- Fan Control;



8. Limpar a máquina e verificar se não fica ferramenta esquecida ou outros materiais dentro da máquina;

9. Pedir a um colega que faça a verificação da cablagem (*cross-check*).

9. Registo e histórico do documento

Data	Revisão	Descrição	Autor
14-11-2018	00	Edição Inicial	I. Vieira

Elaborado por: Inês Vieira

Aprovado por: Vitor Alves

1. Objetivo

Definir o processo para o teste de PCB's em bancada.

1. Campo de Aplicação

Produção de PCB's.

2. Definições / Abreviaturas

MO	<i>Manufacturing Order</i>
TEC. LAB	Técnico de Laboratório
DP	Diretor de Produção e Manutenção
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>

3. Equipamentos

- *Test Jig* – L17;
- Osciloscópio - L22;
- Multímetro – T19;
- Zebra TLP 2844;
- Computador com software Zebra;
- LCD;
- Microchip.

NOTA: Para utilizar os equipamentos, o colaborador deverá verificar se os mesmos têm a manutenção periódica feita.

4. Equipamentos de Proteção Individual

Não aplicável.

5. Processo de Teste

O processo de teste em bancada de PCB's é realizado com o objetivo de verificar se todos os PCB's estão de acordo com os parâmetros exigidos.

Neste teste começam-se por testar quatro dos PCB's em conjunto, seguem-se os *Drivers* e por fim, as placas SOFTSTART, FANCONTROL e TRAFOSOFT individualmente.

6. Descrição do teste de bancada de PCB's

6.1. Teste inicial (MVAMAIN-SM-6C.PCB; MVAMAINRCT-4Q-6B.PCB; MVAFDB-3PH-GPU-3.PCB e MVAPS-7.PCB)



1. Colocar os *jumpers* fechados na MAIN de acordo com o TEST REPORT, mais os *jumpers* "JP1-service mode" e "Delta top" do 4Q. Colocar IOC;
2. Ligar a PS-7, FEEDBACK, 4Q e o *display* na MAIN;
3. Colocar o microchip;
4. Se o equipamento tiver tensão variável, colocar o potenciômetro no conector INVB e ligar o fio castanho ao CNT-2;
5. Colocar o botão "Over temp" no conector CNT-3, ligar corrente trifásica no conector CNT-6 do FEEDBACK e a alimentação da PS-7;
6. Retirar *jumpers* JDCUV e IUV;
7. Alimentar o equipamento, carregar no *start* do *display* e verificar as tensões do PS-7;

REFERENCES

8. Medir tensão nos *test points*;
9. Verificar com o osciloscópio os valores em QA, QB e QC, no 4Q;
10. Colocar a *probe* no *test point* 9 (MAIN) e variar o *pot* FMAX-A para colocar a frequência pedida e em seguida variar a *pot* TIA até obter o valor pedido;
11. Colocar a *probe* do multímetro no pino 1 do U18 e variar o *pot* OFFSET-A do FEEDBACK até obter 0V, fazer o mesmo na R95 variando o *pot* OFFSET-B; e por fim no pino 14 do U41, variando o *pot* OFFSET-C;

PROTECTIONS

12. Ativar o botão “*Over Temp*” e verificar se o LED acende na MAIN e o equipamento desliga;
13. Voltar a iniciar o equipamento. Verificar os valores pretendidos nos *test points* (34, 46, 53, 54, 55, 61, 71 e 73);
14. Se o equipamento tiver condensadores eletrolíticos, *shuntar* o CNT3, usando o *switch* da ficha de teste e subir a tensão até o LED DCUV acender. Registrar valor;

MVAMAINRCT-4Q-6B

15. Colocar a *probe* do osciloscópio no *test point* TRA do 4Q e variar o *pot* FMAXR-A até obter a frequência pretendida, em seguida variar a *pot* TRIANG para obter 14V;
16. Alinhar a onda de saída do *butterworth* (sinusoidal) com a onda de entrada do *butterworth* (quadrada), devem ficar em oposição de fase (180º de desvio);
 - Colocar a *probe* 1 em QA, AC *Coupling*, 1V/div;
 - Colocar a *probe* 2 em SA2, DC *Coupling*, 50mV/div ou 100mV/div;
 - *Trigger* em *probe* 1, *rise and fall*;
 - *Time scale* 5µ/s (para 400Hz);
 - Alinhar a interseção da onda sinusoidal (SA2) com a onda quadrada (que deve estar no centro (0V) no *pot* PHA2);
 - Teste de humidade e temperatura: soprar para o IC referente ao filtro *butterworth* (QA – U2, QB – U5, QC – U6) e condensadores envolventes; e verificar se a onda sinusoidal se desloca em relação à quadrada;
 - Repetir o processo em SB2, QB e SC2, QC;
17. Após se verificar isto, retirar o *rise and fall*, voltar a colocar em DC, reduzir a escala e verificar só uma *probe* em SA2, SB2 e SB2 se o valor está próximo do valor pedido no TEST REPORT, pico a pico;
18. Verificar com a *probe* 1 em U27, pino 5; U21, pino 5 e U14, pino 5, a tensão pico a pico no 4Q;
19. Verificar nos pinos 2 do U12, 2 do U19 e 2 do U26, se a onda aparece com quatro picos em cada um;
20. Verificar os sinais no CNT-CHR e CNT-INV da MAIN nos pinos de 1 a 6 se as ondas são quadradas. Colocar o IMAX no máximo no sentido horário;

IGBT SIGNALS

21. Verificar, nos pins de 1 a 6 do CNT-CHR, se a onda é quadrada e tem uma amplitude entre 0V e 15V;
22. Rodar o pot IMAX (FEEDBACK) no sentido horário até ao fim;
23. Verificar, nos pins de 1 a 6 do CNT-INV, se a onda é quadrada e tem uma amplitude entre 0V e 15V;

FEEDBACK (pre-callibration)

24. Medir no C19 a tensão e adequar ao valor pedido no TEST REPORT no *pot* INVV;
25. Ligar VARIAC AC no contator CNT-5 do FEEDBACK da tensão do inversor e colocar a tensão no VARIAC que aparece na capa do TEST REPORT em “*Output Phase Voltage*”. Com a *probe* do osciloscópio, medir no 4Q, no pino 3 do conector CNT-RCT3. Colocar as escalas de tensão 5V e de tempo 10 ms, osciloscópio e no *pot* INVA do FEEDBACK e variar. Voltar a repetir o mesmo procedimento no pino 6 com o *pot* INVB e por fim, no pino 9 no *pot* INVC;
26. Retirar o VARIAC AC e ligar o VARIAC DC ao conector CNT-4, com a tensão que aparece na capa do TEST REPORT em “*DC LINK Voltage*”, medir no pino 7 do conector CNT-RCT1 do 4Q, variar o *pot* VDC e colocar a onda no 0.
27. Desligar VARIAC;
28. Medir as resistências dos *burdens*;

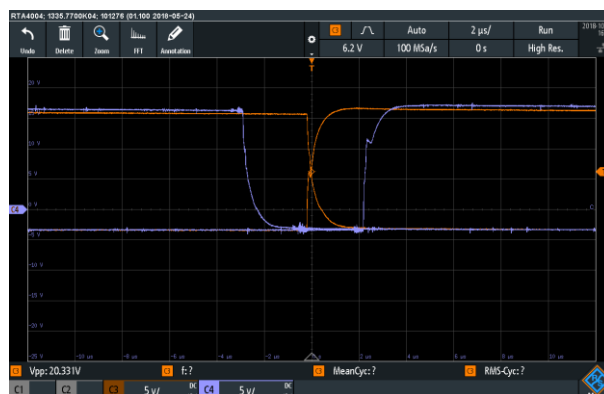
LAST CHECKS

29. Colocar o *jumper* entre os pinos 15 e 16 do conector CNT-LAB, colocar o sensor de humidade, retirar o *jumper* JP1 e retirar o MICRO;
30. Colocar as etiquetas de identificação e controlo de qualidade.

6.2. Teste dos Drivers (SEMIX-DR-S3-SM-IGBT (x3); SEMIX-DR-8 (x3); SEMIX-INF-SM)



1. Montar as placas nos IGBT's;
2. Colocar o *ribbon*;
3. Ligar a INTERFACE à MAIN com o conector CNT-INV;
4. Alimentar a MAIN;
5. Ligar o equipamento;
6. Colocar uma *probe* do osciloscópio no pino 1 do CNTA-B e a outra no pino 1 do CNTA-T, da placa SEMIX-TR-S3-SM-IGBT (canal A);
7. Colocar o *trigger* no "rise and fall", o "time scale" em 2 μ s e a "vertical scale" a 5V/div;
8. Verificar se a distância entre as ondas é de pelo menos 2 μ s;



9. Repetir o processo para as restantes duas placas SEMIX-TR-S3-SM-IGBT (canal B e canal C);

10. Colocar a *probe* 1 no pino 1 do CNTA-B e a *probe* 2 no *jumper* BOT (na SEMIX-TR-S3-SM-IGBT, canal A);
11. Colocar o *trigger* no “rise and fall”, o “time scale” em 50 μ s e a “vertical scale” a 5V/div;
12. Colocar *trigger* na *probe* 2 acima da onda;



13. Colocar o *trigger* do osciloscópio em “normal” e “single”;
14. Retirar o *jumper* BOT e ao fim de dois pulsos o equipamento deve desligar, ou seja, as ondas ficam a zero e o LED SP-A da MAIN deve acender. O LCD mostra “RECTIFIER OFF”.

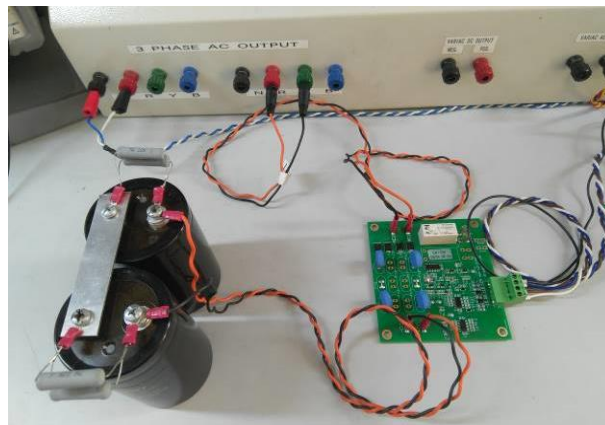


15. Ligar o equipamento;
16. Colocar a *probe* 1 no pino 1 do CNTA-T e a *probe* 2 no *jumper* TOP;
17. Colocar *trigger* na *probe* 2 acima da onda;
18. Colocar o *trigger* do osciloscópio em “normal” e “single”;

19. Retirar o *jumper TOP* e ao fim de dois pulsos o equipamento deve desligar, ou seja, as ondas ficam a zero e o LED SP-A da MAIN deve acender. O LCD mostra “RECTIFIER OFF”;
20. Repetir para as restantes duas placas SEMIX-DR-S3-SM-IGBT (canais B e C);
21. Colocar os restantes *jumpers* no BOT e TOP.

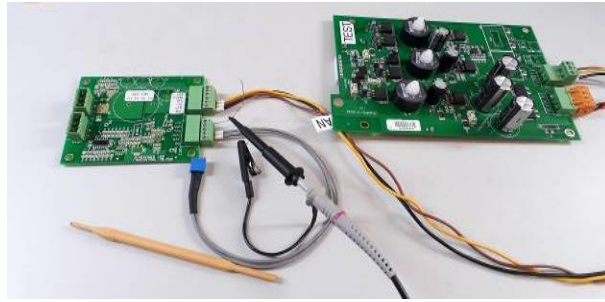
6.3. Teste da MVA-SOFTSTART-00

1. Alimentar a placa com a POWER SUPPLY na ficha CNT-1.
2. Ligar o OUTPUT DC ao VARIAC DC;
3. O LED DCUV deve estar ligado;
4. Subir o DC, o LED DCUV deve desligar e o relé deve atracar;
5. Desligar os cabos DC;
6. Ligar o IN AC1 e AC2 a duas fases do OUTPUT AC;
7. Ligar o OUT DC aos condensadores;



8. Ligar o OUTPUT AC;
9. O LED CHRG deve ligar. Os condensadores começam a carregar; o LED DCUV desliga; o LED CHRG desliga e o relé atraca;
10. Descarregar os condensadores;
11. Colocar a etiqueta de controlo de qualidade.

6.4. Teste da FANCONTROL-4B.PCB



1. Alimentar a placa no CNT1, com a POWER SUPPLY.
2. Ligar nos pinos NTC da ficha CNT-2 um potenciômetro;
3. Colocar a *probe* do osciloscópio no pino PWR da ficha CNT-2;
4. Variar a resistência no potenciômetro e a tensão deve variar entre os valores requeridos;
5. Colocar as etiquetas de identificação e controlo de qualidade.

6.5. Teste da TRAFOSOFT.PCB




1. Alimentar a placa no conector CNT-2 com 24V DC;
2. Verificar que o relé atraca.

7. Registo e histórico do documento

Data	Revisão	Descrição	Autor
25-10-2018	00	Edição Inicial	I. Vieira
17-01-2019	01	Adição de passos à descrição do teste. Adequação do documento ao novo <i>test report</i> . Atualização fotográfica.	I. Vieira

Elaborado por: Inês Vieira

Aprovado por: Vitor Alves

	INSTRUÇÃO DE TRABALHO Teste	Página 1 de 17 Data: 16-11-2018 Revisão:05
---	--	---

1. Objetivo

Descrever o processo de teste em equipamentos de eletrônica de potência.

2. Campo de Aplicação

Produção de equipamentos de eletrônica de potência.

3. Definições/Abreviaturas

MO – *Manufacturing Order*

ET – Engenheiro de teste

DP – Diretor da Produção e Manutenção

DT – Desenho técnico

4. Equipamentos

- Multímetro;
- Osciloscópio;
- Computador;
- *multianaliser* (T17);
- Ferramentas de uso manual.

NOTA: Para utilizar os equipamentos o colaborador deverá verificar se os mesmos têm a manutenção periódica feita.

5. EPI's

- Botas de proteção isoladoras de alta tensão;
- Proteções auditivas;
- Luvas.

6. Desenvolvimento e Responsabilidades

Fluxograma	Resp.	Docs.	Ação
Receção da MO	DP	MO	Recebe a MO do DP.
Verificação da documentação	ET	PRD.029; PRD.048; <i>wiring diagram</i> ; PRD.044; DT	Verifica documentação.
Inspeção do equipamento	ET	PRD.029; PRD.048; <i>wiring diagram</i> ; PRD.044; DT	Faz inspeção e verifica o equipamento.
Verificação eletrónica	ET	PRD.029; PRD.048; <i>wiring diagram</i> ; PRD.044	Verifica da eletrónica do equipamento.
Arranque do equipamento	ET	PRD.029; PRD.048; <i>wiring diagram</i> ; PRD.044	Faz arranque do equipamento.
Verificação do arranque	ET	PRD.029; PRD.048; <i>wiring diagram</i> ; PRD.044	Verifica o correto arranque do equipamento.
Calibração	ET	PRD.029; PRD.048; <i>wiring diagram</i> ; PRD.044	Faz calibração do equipamento.
Verificação do STEP	ET	PRD.029; PRD.048; <i>wiring diagram</i> ; PRD.044	Verifica o tempo de resposta do equipamento (STEP).
Overload	ET	PRD.029; PRD.048; <i>wiring diagram</i> ; PRD.044	Aplica <i>overload</i> no equipamento.
Preenchimento do <i>test report</i>	ET	PRD.029; PRD.048; PRD.044; <i>test report</i>	Preenche o <i>test report</i> .
Limpeza e <i>labelling</i>	ET	DT	Coloca etiquetas e limpa o equipamento.

7. Descrição do Procedimento de Teste

1. Inspeção e verificação do equipamento para teste

Antes de iniciar qualquer teste do equipamento, realizar as seguintes tarefas:

- a) Verificar toda a documentação relativa ao equipamento (PRD.029; PRD.048; *wiring diagram*; PRD.044; DT);
- b) Instalação das placas de eletrônica em falta;
- c) Instalação dos fusíveis;
- d) Aperto de parafusos;
- e) Verificação de cravações e cablagem (sinal e potência);
- f) Verificação de ferramenta esquecida no equipamento;
- g) Limpeza de lixo e resíduos dos processos de montagem.

2. Verificação da eletrônica do equipamento



Figura 1

1. Desligar os cabos do retificador (cabos com o número 15, 16 e 17 – figura 1, na versão *standard*) e isolar com manga termo-retrátil;
2. Desligar a saída a placa START ou simplesmente levantar F3 e F4 na versão *standard* (verificar o *wiring diagram*);
3. Curto-circuitar o relé da placa START (normalmente um fio entre os fios preto e branco ligados no relé) – figura 2;
4. Desligar a ficha CNT-SUP-1 da placa POWER SUPPLY;



Figura 2

5. No caso de um equipamento COMBI, desligar F1 e F2 do equipamento DC;
6. Verificar com o multímetro, através de continuidade, todas as ligações fundamentais para o correto arranque da unidade:
 - a) entre os LEMs e a placa de FEEDBACK, as alimentações +15V, -15V (ver no *wiring diagram*) e sinal de *feedback* de corrente entre os pontos: CNT2: I-A; I-B; I-C e

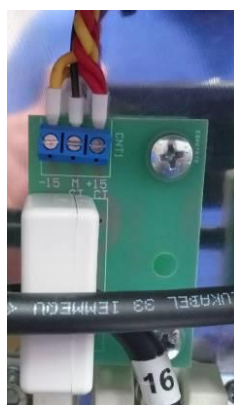


Figura 3: LEM

- CNT1: RA; RB; RC;
- b) entre a START e a POWERSUPPLY, alimentações +24V, +15V, -15V e GND;
- c) na START, a entrada (AC1 e AC2) nos fusíveis F3 e F4, respetivamente;
- d) na START, a saída entre os condensadores e a placa FEEDBACK em CNT3 (+DC e - DC, respetivamente);
7. Medir a continuidade nos cabos de potência 1, 2 e 3; e 12, 13 e 14, respetivamente

(com o MCB fechado);

8. Medir a continuidade RA, RB e RC, na placa FEEDBACK; e os cabos de potência 15, 16 e 17, previamente levantados;
9. Verificar visualmente o *feedback* de tensão do inversor e o respetivo cabo multifilar MF9;
10. Verificar se o *Display* está bem alimentado, verificar a continuidade 24V do Display para a sua alimentação. Normalmente, é feita na START num GPU, com EF normalmente é feita na EF;
11. Verificar a continuidade entre os 24V da placa START e os 24V da placa TRAFOSOFT.

IMPORTANTE: Como referido em vários pontos, toda esta verificação não dispensa a consulta atenta do *wiring diagram*.

3. Arranque do equipamento

Remover os *jumpers* “JP-JDCUV”, “IUV” da placa MVAMAIN;

1. Monitorizar a tensão DC do barramento;
2. Colocar a proteção de acrílico em frente aos IGBT’s;
3. Ligar os cabos de alimentação L1, L2, L3, N (se existir) e terra;
4. Ligar o no quadro o disjuntor de entrada;
5. Verificar se as ventoinhas arrancam e os níveis de tensão no CNT-SUP-1 na MAIN BOARD; medir os níveis de tensão AC com a ficha CNT-SUP_1 no ar;
6. Se estiver tudo correto, desligar o equipamento;
7. Ligar a ficha da eletrónica;
8. Ligar novamente o equipamento (apenas o LED LVCC e o LED BTOFF devem permanecer acesos);
9. Programar o microcontrolador da placa MVAMAIN:
 - a) Remover o jumper MICRO-RST;
 - b) Ligar o programador como mostra a figura 4 na ficha CNT-MICRO da placa MVAMAIN;



Figura 4

- c) Ligar a ficha USB ao computador, abrir a pasta “sinepower_tools”, executar na consola de Linux o comando de programação do micro adequado à topologia de ligação do equipamento em teste e aguardar pela mensagem de sucesso do programador;

```
andre.pacheco@TOSH-TEST:~$ ./program_mvamain.sh
```

Standard, topologia trifásico no input e output

```
andre.pacheco@TOSH-TEST:/opt/sinepower_tools$ ./program_mvamain.sh "/media/andre.pacheco/Depts/04 - Production/03 - Firmware/SDCC/firmware_13.hex"
```

```
andre.pacheco@TOSH-TEST:/opt/sinepower_tools$ ./program_mvamain.sh "/media/andre.pacheco/Depts/04 - Production/03 - Firmware/SDCC/firmware_31.hex"
```

Standard, topologia monofásico no input e trifásico output

Standard, topologia trifásico no input e monofásico output

- d) Colocar novamente o *jumper* MICRO-RST, depois da mensagem de sucesso da programação;

10. Programar o microcontrolador da placa STANDALONEDISPLAY:

- a) Ligar o cabo série com ficha RJ-45 no conector P2 da placa STANDALONEDISPLAY



Figura 5

(figura 5);

- b) Ligar a ficha USB do cabo série ao computador, executar na consola de LINUX o comando de programação do microcontrolador adequado ao tipo de equipamento e aguardar a mensagem de sucesso do programador;

```
andre.pacheco@TOSH-TEST:~/Desktop/Procedimento Teste$ lpc21isp -wipe -control -bin "/media/andre.pacheco/Depts/04 - Production/03 - Firmware/LPC/lpc_display_sfc.bin" /dev/ttyUSB0 115200 1200
```

Comando para programar o *display* em SFC

```
andre.pacheco@TOSH-TEST:~/Desktop/Procedimento Teste$ lpc21isp -wipe -control -bin "/media/andre.pacheco/Depts/04 - Production/03 - Firmware/LPC/lpc_display_gpu.bin" /dev/ttyUSB0 115200 1200
```

```
pacheco@TOSH-TEST:~/Desktop$ lpc21isp -wipe -control -bin "/media/andre.pacheco/Depts/04 - Production/03 - Firmware/LPC/lpc_display_volt_freq.bin" /dev/ttyUSB0 115200 1200
```

Comando para programar o *display* em GPU

Comando para programar o *display* em SFC com ajuste de tensão e frequência

NOTA: Na pasta “firmware” (Drive) estão disponíveis as versões do *firmware* para equipamentos não standard, com *volt adjust* ou frequência ajustável, por exemplo.

11. Ligar os botões de controlo ON/OFF externo no conector CNT-2 (figura 6);



Figura 6

12. Remover os *jumers* MICRO-OFF e EPO-CPU;
13. Rodar potenciômetro IMAX na placa FEEDBACK para o máximo (sentido horário);
14. Premir o botão de ON externo para inicializar o controlo eletrónico do equipamento que irá aplicar os sinais às *gates* dos IGBT's;

ATENÇÃO: no barramento DC os valores devem aumentar para um valor entre 0.4V e 0.8V; e o LED INVUV na placa MAINBOARD deve acender com a cor vermelha e o LED LVCC deve estar verde;

15. Verificar impulsos nas *gates* dos IGBT's:
 - a) Verificar no osciloscópio os IGBT's, nos fio verde e cor-de-laranja para IGBT's SKM; e nos pinos 1 dos conectores CNTA-T e CNTA-B para IGBT's SEMIX;
 - b) Gates do retificador devem apresentar pulsos semelhantes aos das imagens, garantindo que nunca se encontram ao mesmo tempo ligados;

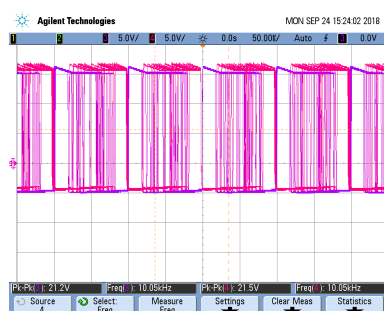


Figura 7: Pulsos do retificador

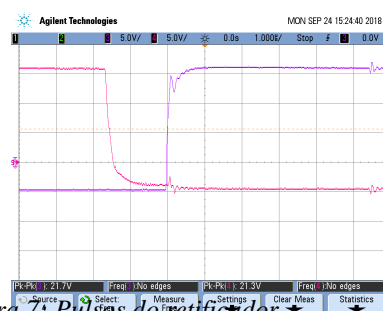


Figura 8: Pulsos do retificador

- c) Gates do inversor devem apresentar pulsos semelhantes aos das imagens, garantindo que nunca se encontram ao mesmo tempo ligados;



Figura 10: Pulsos do inversor

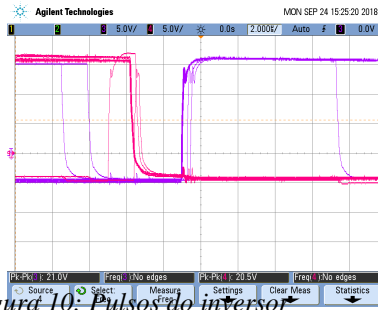


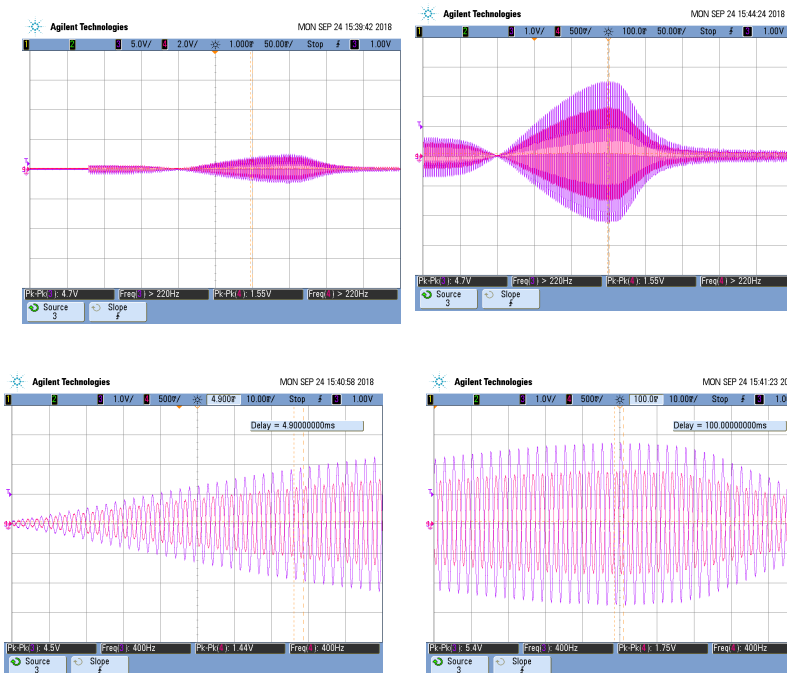
Figura 9: Pulsos do inversor

16. Desligar o equipamento;
17. Se estiver tudo correto avançar para o próximo passo.

NOTA DE SEGURANÇA: Sempre que se desliga o equipamento, para qualquer intervenção neste, verificar a tensão no barramento DC e descarregar, caso seja necessário, com a resistência da potência construída para o efeito.

4. Verificação do correto arranque do equipamento

1. Com o osciloscópio verificar a forma de onda do inversor nos *test points* da placa de FEEDBACK:
 - Tensão: $INV_{A, B e C}$; (Para 400hz base do tempo 1ms/div); TP5 (V);
 - Corrente: $I_{A, B e C}$; TP16 (I);
2. Colocar em modo normal *trigger* na tensão e escala de tempo 200ms. A *probe* da tensão deve estar com 5V por divisão e da corrente com 2V por divisão;
3. Baixar os fusíveis F3 e F4, de forma a carregar com alguma tensão;
4. Retirar o *shunt* do relé da placa START e ligar no respetivo relé;
5. Ligar o equipamento e monitorizar a subida de tensão. O contator de entrada deve atracar;
6. Arrancar o inversor pressionando o botão de ON externo;



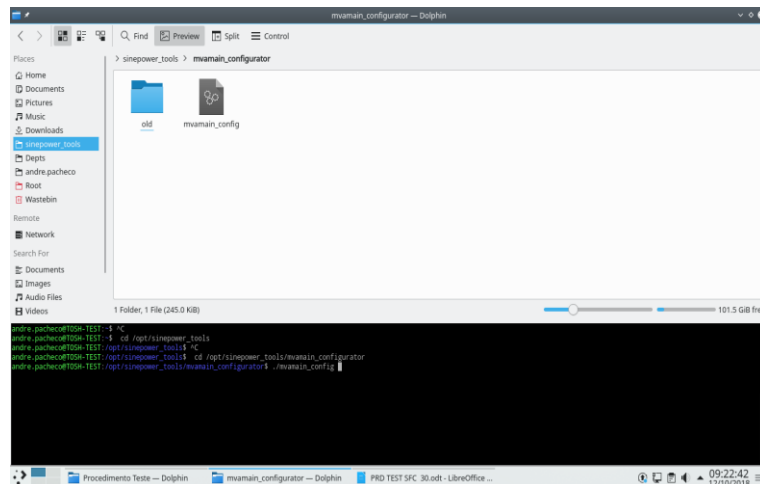
7. Auscultar o transformador a descarregar, deverá produzir um som contínuo se estiver tudo correto e as formas de onda devem começar sinusoidais começando a distorcer com o descarregar do DC). Como se pode verificar com as imagens abaixo, retiradas do osciloscópio;
8. Desligar;
9. Colocar os cabos 15, 16 e 17 nos respetivos IGBT's;
10. Alimentar o equipamento;
11. Monitorizar a tensão do barramento. Esta deve parar por volta dos 580VDC;
12. Com a botoneira de emergência na mão, pressionar o botão ON externo e monitorizar a tensão de barramento. **Nota: Caso a tensão continue a subir, desligar de imediato;**
13. **Analisar** sinusoides no osciloscópio – estas devem apresentar o aspeto da figura 11 (forma de onda, *ripple*, etc.)



14. Afinar a tensão do barramento DC (DC *link voltage*) segundo o *test report*;
15. Ajustar a tensão de saída para o requerido pelo cliente. Com o multímetro verificar a tensão. Ajustar os potenciômetros INV A, B e C; e medir. Caso o equipamento seja de 400Hz na saída, afinar e calibrar com o multianalyser T17;
16. Afinar os *offsets*:
 - a) colocar em mV DC o voltímetro;
 - b) medir entre os TP (*test point*) 16, 15 e 14 e cada *offset*;
 - c) ajustar no *trimpot* OFFS-A, OFFS-B e OFFS-C de forma a obter um valor inferior a 10mV.

5. Calibração

1. Ligar o cabo de comunicação entre o computador e a MAINBOARD no conector RS232;
2. Colocar jumper JP1 e pressionar *reset* (S1) na MAINBOARD;
3. Abrir o *file manager* do *Dolphin* e entrar na pasta “*sinpower_tools*” e depois executar o “*mvmain_configurator*”. Como se pode ver na figura abaixo;



4. Em “file”, clicar “New Config File” e criar novo ficheiro do *desktop* do computador com o serial *number*;
5. Começar por preencher as características do equipamento, em função do *test report*. “Nom. Out Power”, “Nom. In Ph Volt”, “Nom. Out Volt”, “Nom. Inv Freq” e “Serial Number” (ver figura abaixo). Nota: para o caso de o equipamento ser de entrada monofásica ou de saída monofásica, colocar o visto nas respetivas caixas;

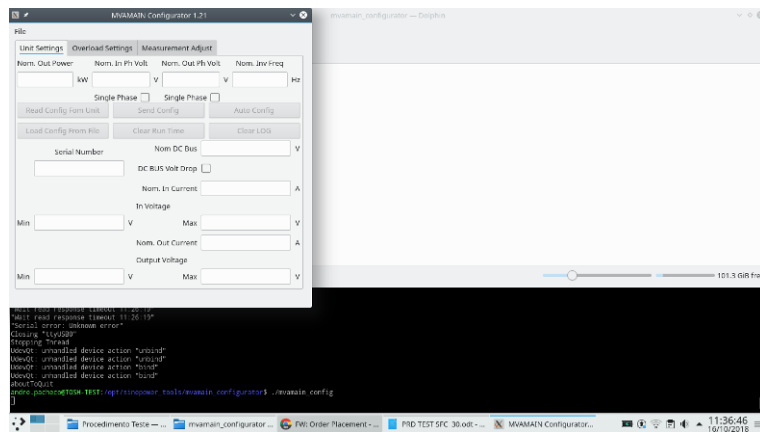


Figura 13

6. Após preencher estes campos, o botão “Auto Config” ficará disponível e deve ser premido (figura 14). Desta forma, todos os campos em falta ficarão preenchidos à excepção do *serial number*, que deverá ser preenchido manualmente. Se o equipamento for de potência até 30kVAs, por o visto na caixa do “drop voltage”; se superior, por o visto depois de fazer a circulação. Finalizar fazendo “Send Config”. “Write OK” no canto inferior direito será a mensagem de sucesso do envio da configuração.

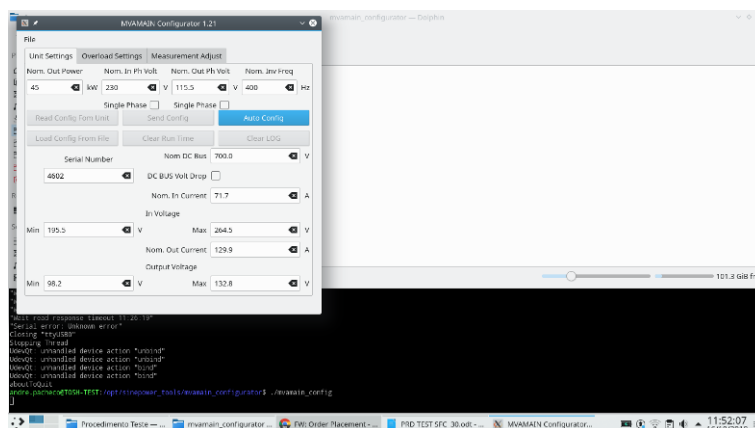


Figura 14

7. No configurador, selecionar o separador “Measurement Adjust” e preencher os diferentes parâmetros, começando pelas tensões dos inversores A, B e C, respetivamente. Para inserir estes valores (“Target Value”), é necessário esperar que o “Raw Value” seja automaticamente preenchido; e, seguidamente, esperar também que a caixa do “Multiplier” seja preenchida para fazer “Send Multiplier”;
8. Os primeiros valores a ser inseridos são as tensões de inversor, retificador e do barramento DC, ou seja, 7 parâmetros no total (IA_D; IB_D; IC_D; MB PA_D; MB PB_D; MB PC_D; VDC_D). Fazer sempre “save multipliers” no fim;
9. Se for até 30kVAs, aplicar corrente necessária até atingir *full load* (100%) no banco de carga resistivo, monitorizando a corrente de saída com o T17. Nota: O valor da corrente deverá ser consultado na PRD.048 (I. IN MAX e I.OUT MAX);
10. Se for superior a 30kVA, circular e aplicar carga, com o limitador de corrente, até atingir o *full load*. Para circular ver 7.6;
11. Calibrar as correntes de entrada e as correntes de saída, 6 parâmetros ao todo (OCA_D; OCB_D; OCC_D; MCA_D; MCB_D; MCC_D). Fazer “save multipliers”;
12. Retirar JP1, pressionar *reset* (S1 da *Mainboard*) e recolocar os *jumpers* EPO-CPU e MICRO-OFF;
13. Arrancar a no botão *start* do *Display* e verificar todos os valores introduzidos.

6. Para equipamentos com potência superior a 30kVA

7.6.1. Preparação para ligação em circulação (realimentação do equipamento)

1. Realimentar, saída com entrada (neutro no comum); por exemplo nos fusíveis 115-200, para 230-400 no autotransformador;
2. Ligar DC, + e – dos condensadores ao D-LOAD + e -;
3. Jumper em SD1 e MONOPHASE, na *Mainboard*;
4. Atracar o relé (RL1) normalmente (meter a patilha cor-de-laranja a 90º)
5. Abrir fusíveis F1 e F2;
6. Ligar externamente nos respetivos bornes (ASUP e 8A, normalmente);
7. Abrir fusíveis F3 e F4 (desliga a START);
8. Abrir fusível F7;
9. Desligar o disjuntor de entrada;
10. Colocar limitador de corrente no *Piggyback* e verificar se este está no mínimo.

7.6.2. Ligação em circulação (realimentação do equipamento): arranque

1. No D-load:
2. Ligar no quadro;
3. Ligar MCCB do Dload;
4. Arrancar com o botão ON o D-Load;
5. Ajustar DC no D-Load para valor ligeiramente abaixo pedida;
6. Certificar que o interruptor de segurança está OFF.
7. Baixar os fusíveis de saída do DLOAD. Fechar o disjuntor do DC no D-Load (OUTPUT-2) e rodar o respetivo *switch* para ON-OP2;
8. Pressionar ON com a botoneira externa (o inversor deve arrancar, normalmente);
9. Rodar para ON o disjuntor de entrada. O retificador entrará passado 2 a 3 segundos;
10. Monitorizando as correntes de saída, rodar o limitador de corrente até atingir a carga máxima. Analisar e calibrar correntes de entrada e saída.

7. Preenchimento do *test report*

7.7.1.

1. Depois de calibrar todos os parâmetros, 13 ao todo, confirmar no ficheiro...cfg criado, se lá estão todos os *multipliers*;
2. Retirar JP1, pressionar S1 (*reset* na *Mainboard*) e verificar todos os valores introduzidos no *Display*, arrancando com a botoneira externa;
3. Se tudo estiver correto, pressionar o botão ON do *display*. Os LED's representativos do RCT e do INV devem passar a verde;
4. Recolocar os *jumpers* a verde.

7.7.2.

Usando o *multianalyser* T17, preencher o *test report*:

- a) Para tensões e correntes, usar o menu VOLT/AMP/FREQ;
- b) Para potências usar o menu POWER...;
- c) Para THD, usar o menu "Harmonics".

7.7.3. STEP - Tempo de resposta do equipamento

Para verificar o tempo de resposta do equipamento em carga efetuar o procedimento com o osciloscópio:

1. Colocar o *trigger* ligeiramente acima da onda da corrente com *output* OFF;
2. Retirar a carga (desligar o *output*);
3. Selecionar *single*;
4. Selecionar o modo normal;
5. Ligar o *output*;
6. Desligar *output*;
7. Verificar o tempo de recuperação da forma de onda de tensão. Contar o número de ciclos de recuperação;
8. Calcular em percentagem o valor a que a tensão foi abaixo.

7.7.4. Overload

1. Aumentar progressivamente a carga até atingir 150% *load* no *Display*;
2. Retirar carga, esperar alguns segundos, aplicar 150% de carga e cronometrar o tempo até o equipamento se desligar em OVERLOAD;
3. Caso o equipamento seja superior a 30kVA, depois de tudo em funcionamento baixar/simular o *drop volt* DC no Dload.

7.7.5. Teste 28V

Com COMBI (preparação para arranque)

1. Preparação (com os fusíveis abertos);
2. Verificar a alimentação da *Power supply*;
3. Ligar na parede (fusíveis OFF);
4. Com a GREENINVERT ligada no software do controlador, estabelecer a comunicação com o equipamento e modificar a proteção DCBUS_undervoltage para 0;
5. Ligar o equipamento dos 28V. Apenas os LEDs ON-OP e ON-M devem permanecer acesos;
6. Desafinar a triangular no TP8 para uma amplitude de +10V, -10V;
7. Ligar digital output 1
8. Verificar os sinais nos *gates* dos IGBT's *com o osciloscópio*;
9. Desligar;
10. Descarregar DC da SFC/GPU;
11. Fechar fusíveis;
12. Ligar no quadro;
13. Para afinar o limite de corrente (ver *test report*):
 - a) Usar resistências do tanque;
 - b) Pinça na corrente;

- c) Afinar no Pot ICH para o pedido. No SH+ e SH- deve estar 4V que é o limite do LEM;
14. Desligar proteções V; UV; *Overload* (**Manter ligado no máximo 10 segundos**);
- a) Calibrar no controller, em Analog Calibration \ Inductor Current LEM
- colocar valor de corrente medido em "Measured Value"
 - carregar "Calibrate".
15. Afinar com menos carga:
- a) Ajustar o valor de offset caso não esteja a ler valores de corrente linearmente ou usar a folha de excell ("caculoganhos") para calcular um novo valor de offset. Na folha de cálculo:
- copiar valor do OFFSET e GAIN para folha *Excel* onde diz ganho atual e *Offset* atual;
 - colocar o valor real e o valor lido no *Output Current* no valor do Micro;
 - A folha calcula o novo GAIN e o novo OFFSET para o *controller* (ATENÇÃO: mudar os valores de *offset* e *gain* no *controller* vai alterar o que é medido em todas as correntes) ;
- b) Verificar se os valores do *Output Current* se mantêm lineares com a adição de carga.
16. No Pot. VBT, ajustar a tensão de saída;
17. Entre o TP 35, 34 no POT VOP, afinar para 0V;
18. Ajustar Output Voltage em *Analog Calibration*:
19. *Ajustar DC Bus em Analog Calibration*:
20. Salvar o ficheiro de configuração

Caso não seja COMBI:

1. +- 28V no feedback DC para ver os gates;
2. Testar retificador FF tal e qual AC.

8. Limpeza e *labelling*


1. Colocar as devidas etiquetas segundo o DT;
2. Procurar ferramenta e outros objetos perdidos no equipamento;
3. Limpar o equipamento com álcool isopropílico.

9. Registo e histórico do documento

Data	Revisão	Descrição	Autor
05-11-2012	00	Edição Inicial	
25-11-2012	01	Adicionados novos passos na operação de teste.	
19-09-2016	02	Adicionado o Registo Fotográfico dos PCB's seguindo a SM63. Dynamic Test – unidade: acresceto do aperto final dos AC's dos IGBTs conforme sugerido na SM70.	
04-10-2016	03	Remoção do ponto 5 – Riscos e 6 – Medidas preventivas. Substituição do documento PRD.018 Quality Control pelo documento PRD.029 Ficha de produção e qualidade.	
28-10-2016	04	Conforme decidido em reunião da gestão foi retirado o registo fotográfico presente no Teste de PCB's – Eletrónica de Bancada e inseriu-se o registo fotográfico na parte do Dynamic Test-Unidade.	
16-11-2018	05	Alterações nas tarefas. Novo fluxograma.	I. Vieira

Elaborado por: Inês Vieira

Aprovado por: Vitor Alves

	INSTRUÇÃO DE TRABALHO Embalar	Página 1 de 4 Data: 14-12-2018 Revisão: 07
---	--	---

1. Objetivo

Definir os processos para a correta execução da tarefa de embalagem.

2. Campo de aplicação

O presente documento aplica-se aos trabalhos executados na operação de embalagem de equipamentos de eletrônica de potência.

3. Definições/Abreviaturas

MO – Manufacturing Order

EL - Eletricista

DQ - Diretor da Qualidade

DP – Diretor da Produção e Manutenção

ET – Engenheiro de Testes

OLI – Operador de Logística Industrial

4. Equipamentos

- Porta-paletes;
- Empilhador;
- Pistola pneumática de agrafos;
- Aparafusadoras elétricas.

5. EPI's

- Botas de proteção mecânica;
- Óculos de proteção;
- Máscara de proteção contra poeiras;

- Proteções auditivas;
- Luvas de proteção mecânica.

6. Desenvolvimento e Responsabilidades

Fluxograma	Resp.	Docs.	Ação
<pre> graph TD A[Emissão da MO para embalagem] --> B[Verificação das condições do equipamento] B --> C[Embalamento] C --> D[Identificação da embalagem] D --> E[Equipamento pronto para despacho] </pre>	DP ET	MO	Após termino do teste, o ET informa o DP que o equipamento está pronto e o DP emite MO para embalar a unidade.
	DP	MO	Revê as condições externas da unidade, verificando se está pronta para o embalagem e efetua registo fotográfico.
	EL	MO PRD.029	O equipamento é embalado conforme instrução de trabalho e aparafusada à caixa de transporte.
	OLI	MO PRD.029	Identifica o <i>package</i> com SN; MODEL; CLIENT; WEIGHT; SIZE.
	DP	MO PRD.029	O DP informa que o equipamento está pronto para despacho.

7. Descrição Resumida das Tarefas

1. Com o recurso ao *check list* do documento PRD.029, verifica-se se o equipamento cumpre todos os requisitos para embalagem;
2. O exterior da unidade é limpo com álcool isopropílico;
3. Envolve-se a unidade com celofane, de forma a proteger de eventuais humidades ou líquidos;
4. Coloca-se o revestimento com placas de contraplacado à medida;
5. A embalagem é identificada com as informações de transporte e segurança, bem como a informação do número de série e o nome do cliente;
6. Envolve-se a embalagem de transporte com celofane para impedir eventuais humidades ou líquidos de entrarem em contacto com o contraplacado;
7. O DP informa o que o equipamento está embalado e pronto para despacho/recolha.



8. Registo e histórico do Documento

Data	Revisão	Descrição	Autor
05-11-2012	00	Edição Inicial.	
26-03-2013	01	Alteração do ponto 8. Descrição Resumida da Tarefa de Embalagem no processo 1 e 2.	
07-01-2014	02	Introdução do “labelling” da unidade embalada.	
15-09-2016	03	Alteração dos cargos: aprendiz de eletricista retirado.	
27-09-2016	04	Alteração das responsabilidades no envio e despacho que passa a estar a cargo do Diretor de Qualidade.	
04-10-2016	05	Remoção do ponto 5 – Riscos e 6 – Medidas Preventivas.	
25-10-2018	06	Alteração de responsabilidades, formatação e revisão.	R. Oliveira
14-12-2018	07	Alterações na lista de abreviaturas. Novo fluxograma. Atualização fotográfica.	I. Vieira

Elaborado por: Inês Vieira

Aprovado por: Vitor Alves

Anexo D – Tabelas com dados dos relatórios de simulação

Cenário Antes		Repl. 1	Repl. 2	Repl.3	Repl. 4	Repl. 5	Média	Desv. Padrão	Int. Confiança
WIP (nº)	Caixa	1,2820	1,3535	1,4233	1,2286	1,2991	1,3173	0,0741	0,0650
	Conjunto indutores	1,8450	1,2697	1,3000	1,5500	1,2264	1,4382	0,2600	0,2279
	Equipamento	0,2027	0,2070	0,2244	0,1885	0,2187	0,2083	0,0141	0,0123
Duração dos processos (h)	Aparafusa palete	1,5986	1,4994	1,7034	1,4520	1,5427	1,5592	0,0971	0,0851
	Bobinagem	7,0485	6,9639	6,7700	7,0665	6,8361	6,9370	0,1304	0,1143
	Colocar transformador	2,5085	2,1862	2,5395	2,4557	2,5045	2,4389	0,1444	0,1266
	Cross-check	0,7770	0,6729	0,7644	0,7103	0,8305	0,7510	0,0611	0,0536
	Faz powerpack	1,8440	3,9140	2,4810	1,1744	1,1157	2,1058	1,1540	1,0115
	Instala armação	3,9722	3,9699	4,1180	3,5910	3,9637	3,9230	0,1965	0,1723
	Limpeza	1,1602	1,1119	1,1046	1,0193	1,3059	1,1404	0,1055	0,0925
	Faz caixa entrada	6,3536	7,0115	6,1614	7,1264	6,1873	6,5680	0,4650	0,4075
	Coloca componentes	3,0577	2,9963	3,1977	2,9175	2,9561	3,0251	0,1096	0,0960
	Faz filtro RFI	1,0165	1,3487	0,7483	0,7146	0,8132	0,9283	0,2626	0,2302
	Prepara caixa	5,4218	5,5339	5,8671	4,8553	5,4388	5,4234	0,3647	0,3197
	Prepara núcleos	4,0789	4,2657	3,9710	4,2964	3,9010	4,1026	0,1751	0,1535
	Vê doc.	1,7485	1,4461	1,6183	1,1537	1,0311	1,3995	0,3033	0,2659
	Verifica caixa	0,5366	0,5766	0,5466	0,5671	0,4852	0,5424	0,0357	0,0313
	Verificação	0,6589	0,6316	0,6785	0,6400	0,6419	0,6502	0,0187	0,0164
Tempo máximo em fila de espera (h)	Aparafusa palete	0,0000	2,3411	2,5725	0,0834	1,2521	1,2498	1,2107	1,0612
	Bobinagem	0,9760	6,8189	7,6618	1,0073	4,0163	4,0961	3,1389	2,7513
	Coloca transformador	0,0851	9,6772	0,5841	0,6892	0,5873	2,3246	4,1170	3,6086
	Cross check	2,0559	6,0133	4,6265	1,9986	0,6139	3,0616	2,1963	1,9251
	Faz powerpack	1,0119	15,4200	2,2786	4,7861	2,0051	5,1003	5,9341	5,2013
	Instala armação	5,7425	6,9427	9,6112	4,1984	5,6628	6,4315	2,0263	1,7761
	Limpeza	0,4459	10,1250	4,6014	0,6690	1,5829	3,4848	4,0657	3,5637
	Faz caixa entrada	0,2672	5,3677	0,6217	0,4354	0,0305	1,3445	2,2595	1,9805
	Coloca componentes	1,4448	3,6418	3,8277	0,6198	0,2625	1,9593	1,6778	1,4706
	Faz filtro RFI	5,7819	3,2380	4,8266	2,0736	0,4977	3,2836	2,1124	1,8516
	Prepara caixa	0,0000	8,5961	1,1883	1,2010	2,8874	2,7746	3,4130	2,9915
	Prepara núcleos	7,9116	7,7948	8,3035	7,0693	8,9881	8,0135	0,7042	0,6173
	Ver documentação	8,4914	9,0262	6,9575	6,4012	7,0180	7,5789	1,1197	0,9815
	Verifica caixa	0,4723	5,4568	3,8926	3,0327	1,3879	2,8485	1,9816	1,7369
	Verificação indutores	8,9572	7,7061	12,5770	9,8101	8,4097	9,4920	1,8885	1,6553
	Envernizar	0,0000	0,0000	2,3984	0,0000	0,0000	0,4797	1,0726	0,9402
Utilização in	Forno	0,1607	0,1528	0,1667	0,1587	0,1715	0,1621	0,0072	0,0063
	Operador indutores	0,7107	0,6623	0,7162	0,6714	0,7063	0,6934	0,0247	0,0216
	Operador mec. 1	0,4931	0,5345	0,5189	0,4703	0,4912	0,5016	0,0252	0,0221
	Operador mec. 2	0,4882	0,4958	0,5282	0,4483	0,5034	0,4928	0,0291	0,0255
Tempo total médio (h)		31,6506	35,4499	34,1449	30,8300	30,2693	32,4689	2,2299	1,9545

*O intervalo de confiança foi calculado considerando $\alpha=0,05$.

Cenário Após		Repl. 1	Repl. 2	Repl.3	Repl. 4	Repl. 5	Média	Desv. Padrão	Int. Confiança
WIP (nº)	Caixa	0,8546	0,8258	0,8672	1,0161	0,9448	0,9017	0,0776	0,0681
	Conjunto indutores	0,8251	0,8098	0,8488	0,9880	0,9268	0,8797	0,0754	0,0661
	Equipamento	0,0510	0,0510	0,0524	0,0600	0,0564	0,0542	0,0039	0,0035
Duração dos processos (h)	Aparafusa palete	1,3145	1,3061	1,3286	1,3070	1,3254	1,3163	0,0103	0,0091
	Bobinagem	6,6063	6,8444	6,8879	7,0682	6,6652	6,8144	0,1846	0,1618
	Colocar tranformador	1,9148	1,9101	1,9381	1,9063	1,9199	1,9178	0,0124	0,0109
	Cross-check	0,3229	0,3194	0,3043	0,3162	0,3189	0,3163	0,0071	0,0063
	Faz powerpack	1,1860	2,2506	1,9772	2,4923	3,3322	2,2477	0,7804	0,6841
	Instala armação	4,7262	4,6732	4,0950	4,1348	4,1563	4,3571	0,3141	0,2753
	Limpeza	0,2264	0,2298	0,2184	0,2309	0,2195	0,2250	0,0058	0,0051
	Faz caixa entrada	5,0954	5,1048	5,0924	5,0732	5,0205	5,0773	0,0337	0,0296
	Coloca componentes	0,7898	0,8200	0,8307	0,8246	0,8322	0,8195	0,0173	0,0152
	Faz filtro RFI	0,7996	0,9393	0,9168	0,8192	0,8074	0,8565	0,0662	0,0580
	Prepara caixa	5,4507	6,0022	5,8010	5,4052	5,8043	5,6927	0,2555	0,2240
	Prepara núcleos	2,7671	2,8037	2,7271	2,9223	2,7961	2,8033	0,0730	0,0640
	Vê doc.	0,2816	0,2389	0,2641	0,2932	0,2855	0,2727	0,0217	0,0190
	Verifica caixa	0,2616	0,2750	0,2671	0,2742	0,2656	0,2687	0,0058	0,0050
	Verificação	0,0192	0,0199	0,0199	0,0193	0,0198	0,0196	0,0003	0,0003
Tempo máximo em fila de espera (h)	Aparafusa palete	0,0000	0,1135	0,0000	0,0000	0,0000	0,0227	0,0508	0,0445
	Bobinagem	0,0250	0,0263	0,0256	0,0262	0,0256	0,0257	0,0005	0,0005
	Coloca tranformador	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-
	Cross check	0,0000	1,0663	0,0000	0,7875	0,0000	0,3708	0,5172	0,4533
	Faz powerpack	0,0000	2,1657	0,0000	0,1237	0,1350	0,4849	0,9418	0,8255
	Instala armação	0,6086	0,0263	0,5117	0,0253	0,0262	0,2396	0,2946	0,2582
	Limpeza	0,0000	0,5871	0,0000	0,0000	0,0000	0,1174	0,2626	0,2301
	Faz caixa entrada	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-
	Coloca componentes	0,0000	0,3102	0,0000	0,0000	0,0000	0,0620	0,1387	0,1216
	Faz filtro RFI	0,0000	0,3076	0,0000	0,3050	0,0000	0,1225	0,1678	0,1471
	Prepara caixa	0,0000	0,3514	0,0000	0,0000	0,0000	0,0703	0,1572	0,1377
	Prepara núcleos	6,0879	0,0243	3,1736	0,0117	0,0241	1,8643	2,7275	2,3907
	Ver documentação	10,2449	3,9382	4,6296	7,1053	4,8485	6,1533	2,5777	2,2594
	Verifica caixa	0,0000	0,3878	0,0000	0,0000	0,0000	0,0776	0,1734	0,1520
	Verificação indutores	9,9172	8,7917	8,2889	9,4714	8,6825	9,0303	0,6536	0,5729
	Envernizar	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	-
Utilização in	Forno	0,1528	0,1448	0,1567	0,1746	0,1647	0,1587	0,0114	0,0100
	Operador indutores	0,5500	0,5316	0,5504	0,6326	0,5792	0,5688	0,0395	0,0347
	Operador mec. 1	0,3342	0,3396	0,3263	0,4039	0,4096	0,3627	0,0405	0,0355
	Operador mec. 2	0,3289	0,3586	0,4091	0,4039	0,4137	0,3828	0,0374	0,0327
Tempo total médio (h)		22,3762	22,7050	22,0206	23,1296	22,8308	22,6124	0,4271	0,3744

*O intervalo de confiança foi calculado considerando $\alpha=0,05$.